

Aus dem
Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität

Arbeit angefertigt unter der Leitung von Priv.-Doz. Dr. J. Maierl

„Die Schultergliedmaße des Hundes“ – ein interaktives Lernprogramm zur Anatomie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München

von
Claudia Bänsch
aus
Köln

München 2014

**Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. Johann Maierl

Korreferent/en: Univ.-Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg

Tag der Promotion: 12. Juli 2014

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	2
2.1	E-Learning	2
2.1.1	Varianten	2
2.1.2	Vorteile von E-Learning	4
2.1.3	E-Learning an der Hochschule	5
2.2	Erstellung eines Lernprogramms	6
2.2.1	Planung.....	6
2.2.2	Durchführung	7
2.3	Anatomische Strukturen an der Vordergliedmaße des Hundes	11
2.3.1	Skelettsystem	11
2.3.2	Muskelsystem	34
2.3.3	Statik und Dynamik	70
2.3.4	Kreislaufsystem	77
2.3.5	Nervensystem.....	102
2.3.6	Hautanhangsgebilde	119
3	Material und Methoden	123
3.1	Untersuchungsmaterial	123
3.2	Arbeitsschritte	124
3.2.1	Erstellung anatomischer Präparate.....	124
3.2.2	Anfertigung der Bilder	126
3.2.3	Digitale Nachbearbeitung der Bilder	126
3.2.4	Anfertigung von CT-Bildern.....	126
3.2.5	Digitale Nachbearbeitung der CT-Bilder	127
3.2.6	Programmierung des Lernprogramms	127
4	Ergebnisse	128
4.1	Lernprogramm „Die Schultergliedmaße des Hundes“	128
4.1.1	Navigation.....	128
4.1.2	Übungstabellen.....	133
4.1.3	Quiz	134
4.1.4	Kapitel Knochen.....	137
4.1.5	Kapitel Gelenke	139
4.1.6	Kapitel Muskeln	139
4.1.7	Kapitel Gefäße	141

4.1.8	Kapitel Nerven.....	142
4.1.9	Kapitel Hautanhänge.....	143
4.2	Präparate	143
5	Diskussion.....	144
5.1	Traditionelle Lehr- und Lernmethoden: Vor- und Nachteile.....	144
5.2	Computergestütztes Lernen: Vor- und Nachteile.....	144
5.3	CUL an der Tierärztlichen Fakultät der LMU	145
5.4	Das Lernprogramm „Die Schultergliedmaße des Hundes“	147
5.5	Plastinate	150
6	Zusammenfassung.....	152
7	Summary.....	154
8	Literaturverzeichnis	156

Alle anatomischen Termini wurden, sofern im Text nicht anders vermerkt, gemäß der 5. Auflage der Nomina Anatomica Veterinaria verwendet (NAV, 2012).

Abkürzungsverzeichnis

A., Aa.	Arteria, Arteriae
Art., Artt.	Articulatio, Articulationes
CSS	Cascading Stylesheets
CT	Computertomographie
dig.	digitorum
E-Book	elektronisches Buch (engl. <i>electronic book</i>)
For., Forr.	Foramen, Foramina
ggr.	geringgradig
HTML	Hypertext Markup Language
Inc.	Incisura
Lc.	Lymphocentrum
Lig., Ligg.	Ligamentum, Ligamenta
Ln., Lnn.	Lymphonodus, Lymphonodi
M., Mm.	Musculus, Musculi
N., Nn.	Nervus, Nervi
pdf	Portable Document Format
PNS	Peripheres Nervensystem
Proc.	Processus
R., Rr.	Ramus, Rami
V., Vv.	Vena, Venae
ZIP	ZIP-Dateiformat für komprimierte Dateien (von engl. <i>zipper</i> ‚Reißverschluss‘)
ZNS	Zentrales Nervensystem
VTK	Visualization Toolkit

1 Einleitung

Studenten der Tiermedizin müssen in den ersten Semestern eine Vielzahl von anatomischen Fakten erlernen und verarbeiten. Zusätzlich zu den Vorlesungen und Präparierübungen müssen sie den vermittelten Stoff vor- und/oder nachbereiten. Dies geschieht in der Regel mit Hilfe von Lehrbüchern, die die vier verschiedenen Haussäugetiergruppen Fleischfresser, Schwein, Wiederkäuer und Pferd behandeln. Um den Umfang eines solchen Buches im Rahmen zu halten, müssen Detailinformationen zu einer speziellen Gruppe und entsprechendes, illustrierendes Bildmaterial knapp ausfallen, was den Lernerfolg einschränken kann. Bücher, die sich mit einer der Gruppen oder gar nur einer Spezies beschäftigen, sind hingegen oftmals so umfangreich, dass es den Studenten unmöglich ist, ein solches Werk für jede Tiergruppe durchzuarbeiten. Einen Beitrag zur Unterstützung der Studenten kann hier das E-Learning bieten.

Wie in vielen Ausbildungsbereichen hat sich E-Learning in den letzten Jahren zunehmend auch in der medizinischen Ausbildung etabliert (HUWENDIEK et al., 2008). Auch am Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie der Tierärztlichen Fakultät der LMU München sind eine Reihe von Computerunterstützten Lernprogrammen entstanden, unter anderem „BovineDigit: ein multimediales 3D Lernprogramm“ (ZENGERLING, 2004), „Computer basiertes Lernprogramm über die physikalisch-technischen Grundlagen der Sonografie beim Kleintier“ (STRECK, 2004) und „Der Pferdekopf - ein interaktives Lernprogramm“ (ALBERT, 2010).

Mit dieser Arbeit soll diese Reihe Computerunterstützter Lernprogramme fortgeführt werden. Ihr Ziel ist es, ein multimediales Lernprogramm über die systematische und topografische Anatomie der Schultergliedmaße des Hundes zu erstellen, das vor allem für Tiermedizinstudenten in den vorklinischen Semestern eine zeitgemäße Hilfestellung bei der Vor- und Nachbereitung der praktischen Übungen und bei der Physikumsvorbereitung darstellen soll. Aber auch Studenten höherer Semester und auch praktizierende Tierärzte können von diesem Lernprogramm profitieren, indem sie es als Nachschlagewerk zur Auffrischung und Erweiterung ihres Wissens nutzen.

2 Literaturübersicht

2.1 E-Learning

2.1.1 Varianten

Die Entwicklung von elektronisch gestütztem Lernen (E-Learning) begann bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts. Die ersten Lernprogramme wurden an amerikanischen Universitäten auf Großrechnersystemen zur Verfügung gestellt. Mit der Einführung der PCs und der Entwicklung des Windows-Betriebssystems in den 1980er Jahren verbreitete sich der Einsatz von Computerlernprogrammen (CBTs) auch in Deutschland (SCHANDA, 1995). Mittlerweile wird E-Learning in fast allen Bereichen der Aus-, Fort- und Weiterbildung eingesetzt (RUF et al., 2008).

Trotz dieses weiten Einsatzfeldes existiert bislang keine einheitliche Definition für E-Learning. Genaugenommen umfasst der Begriff E-Learning alle Lernformen, die sich elektronischer Medien bedienen (RUF et al., 2008). In didaktischer Hinsicht unterscheidet man z.B. lineare Formen, Hypertexte, sog. Drill & Practice-Angebote, Simulationen, Tutorielle Systeme oder Fallbasiertes Lernen. Unter technischen Aspekten unterscheidet man u.a. das Computer Based Training (CBT), das Web Based Training (WBT) oder das Blended Learning (BOEKER und KLAR, 2006).

Lineare Formen

Zu den linearen Formen des E-Learnings gehören alle Arten multimedialer Präsentationen (Audios, Videos) und elektronischer Texte wie E-Books im pdf-Format oder als HTML-Datei. Da sie vorwiegend sequenziell ablaufen bzw. gelesen werden und interaktive sowie adaptive Komponenten gering bzw. nicht ausgeprägt sind, der Lerner hier also auf eine hauptsächlich wahrnehmend konsumierende Rolle festgelegt ist, sehen viele Autoren lineare elektronische Präsentationen und Texte nicht als eigentliche E-Learning-Anwendungen an. Ihr Vorteil besteht jedoch in der guten Steuerbarkeit des Lernvorgangs durch den Autor (BOEKER und KLAR, 2006).

Hypertexte

Im Gegensatz zu linearen Texten bieten Hypertexte eine interaktive und damit individuelle Form des Lernens an. Der Lerner erarbeitet sich die gewünschte Information interaktiv durch seine spezifische Strategie und nimmt somit eine aktive Rolle ein. Informationen sind in kleine Fragmente zerteilt und über Hyperlinks verbunden, die zu immer neuen Kontexten zusammen geführt werden können. Der Lerner hat die Möglichkeit, seiner Neugier, seinen Interessen und seinem Vorwissen entsprechend, vorzugehen. Der Nachteil dieser Lernform besteht in der reduzierten

oder gar fehlenden Möglichkeit des Autors, den Zugang des Lernalers zum Lerninhalt zu steuern (BOEKER und KLAR, 2006).

Drill & Practice

Drill & Practice-Programme sind reine Übungsprogramme wie z.B. Vokabeltrainer (SCHANDA, 1995) oder spezielle elektronische Sammlungen von Fragen und Antworten zur Klausur- und Prüfungsvorbereitung (BOEKER und KLAR, 2006). Die Leistung des Nutzers wird im Hintergrund protokolliert und ausgewertet. So können Schwachstellen aufgedeckt werden und falsch beantwortete Fragen erneut zur Bearbeitung vorgelegt werden. Eine grafische Darstellung des Lernfortschritts dient häufig der Motivationssteigerung (BOEKER und KLAR, 2006).

Simulationen

Simulationen dienen der Vermittlung dynamischer Prozesse. Sie bilden eine reelle Situation in einem Modell möglichst realitätsnah ab, in der der Nutzer agieren muss. Die Eingaben und Interaktionen des Nutzers werden verarbeitet und entweder als Ausgabeparameter oder auch als komplexe mechanische Handlung dargestellt (BOEKER und KLAR, 2006).

Tutorielle Systeme

Tutorielle Systeme unterstützen den Lerner bei der Bearbeitung eines Programms durch zusätzliche Informationen (wie ein Tutor). In einfachen Formen sind dies einfache Kommentare, in komplexeren Formen wird der Wissensstand des Lernalers immer wieder durch kurze Aufgaben abgefragt und das Programm entsprechend auf ihn angepasst (BOEKER und KLAR, 2006).

Fallbasiertes Lernen

Fallbasiertes Lernen ist eine Form des Problemorientierten Lernens (POL), bei dem ein Ausgangsproblem oder -fall unter der Leitung eines Tutors oder mit Hilfe bereit gestellter Informationen, Fallmaterialien und Lehrtexten gelöst werden soll. Das Ziel ist, neben der konkreten Problemlösung Transferwissen zu erwerben sowie fachspezifische Lern- und Denkstrategien zu entwickeln (REUSSER, 2005). Besonders in der Medizin wird fallbasiertes Lernen als besonders wirkungsvoll angesehen, da man versucht, Entscheidungswege und Handlungen realitätsnah abzubilden (BOEKER und KLAR, 2006).

Computer Based Training (CBT)

Das Computer Based Training ist ein Lernprogramm, das von einem Speichermedium lokal auf einem Computer abgespielt wird. Eine zentral verwaltete Kommunikation ist nicht vorgesehen (BOEKER und KLAR, 2006).

Web Based Training (WBT)

Beim Web Based Training liegt das Lernprogramm auf einem zentralen Server, auf den von verschiedenen lokalen Computern zugegriffen werden kann. Der Lerner hat in der Regel die Möglichkeit, über asynchrone (z.B. E-Mail, Foren) und/oder synchrone (z.B. Chat, Videokonferenz) Kommunikationsformen mit dem Lehrer oder Mitlernern zu kommunizieren (BOEKER und KLAR, 2006).

Blended Learning

Unter Blended Learning versteht man die Kombination von E-Learning mit Präsenzveranstaltungen (RUF et al., 2008).

2.1.2 Vorteile von E-Learning

Computergestütztes Lernen bietet im Vergleich zum Lernen aus Printmedien eine Reihe von Vorteilen. Durch den Einsatz diverser Medien wie Audios, Videos oder Animationen zusätzlich zu Text und Bildern werden im Gehirn verschiedene Regionen angesprochen, wodurch sich der Lernerfolg erhöht (BIELOHUBY et al., 2004). Im Gegensatz zu einem Buch bietet ein Lernprogramm die Möglichkeit einer interaktiven Mitarbeit des Lerners, dieser muss/kann sich den Lernstoff aktiv, auf seine Bedürfnisse und an seinen Lernstand angepasst, erarbeiten anstatt ihn nur passiv aufzunehmen. So ermöglichen Verknüpfungen von verschiedenen Kapiteln über Hyperlinks ein schnelles und flexibles Navigieren durch komplexe Inhalte. Besonders für Auswendiglernen und einsichtiges Lernen, d.h. komplexe Sachverhalte zu verstehen, sind Lernprogramme sehr gut geeignet (SCHANDA, 1995). Einstiegs- und Abschlusstests helfen dem Lerner, eine objektive Einschätzung seines bereits vorhandenen Wissens bzw. seines Lernerfolgs zu bekommen. Bei den einzelnen Aufgaben eines Tests helfen dem Lerner ausgefeilte Feedbackstrukturen, die Aufgabe zu lösen und geben ihm zusätzliche Hintergrundinformationen zu dem behandelten Thema (SCHANDA, 1995).

Im Vergleich zu einer Präsenzveranstaltung wie einer Vorlesung oder einem Seminar passt sich ein E-Learningprogramm an die individuelle Lerngeschwindigkeit des Einzelnen an. So kann man es z.B. sehr gut nutzen, um Teilnehmer gezielt auf eine gemeinsame Präsenzveranstaltung vorzubereiten (SCHANDA, 1995).

2.1.3 E-Learning an der Hochschule

Der Ausbau von E-Learning an Hochschulen ist Bestandteil des Hochschulpakts 2020, der in der Gemeinsamen Wissenschaftskonferenz (GWK) erarbeitet wurde. Er ist eine Maßnahme aus dem Programm für bessere Studienbedingungen und mehr Qualität in der Lehre (Qualitätspakt Lehre) (KMK und GWK, 2012).

Bereits seit Mitte der 1990er Jahre hat die Zahl der Multimediaprojekte in Deutschland zugenommen. In dieser Zeit wurde auch die Virtuelle Hochschule Bayern (vhb) als Kooperation aller bayerischen Hochschulen gegründet, die im Jahr 2000 ihren Betrieb aufgenommen hat und ein vielfältiges Angebot virtueller Lernmöglichkeiten bietet (BANG et al., 2005).

Mit E-Learningangeboten ist es möglich, mit überschaubarem Kosten- und Personalaufwand den ständig steigenden Zahlen an Studenten gerecht zu werden. Diese haben von 250.000 im Jahr 2005 (BANG et al., 2005) auf 517.000 im Jahr 2011 (KMK und GWK, 2012) erheblich zugenommen.

Gerade im Bereich der Medizin können Lehr-/Lernsysteme einen wichtigen Beitrag zu einer qualitativ hochwertigen Ausbildung liefern. Durch sie können Lernerfahrungen in der realen Praxis vertieft und die Studierenden besser auf diese vorbereitet werden (HAAG, 1998).

Essentiell für den Erfolg von E-Learning-Initiativen ist ein ständiger Austausch aller Beteiligten, so dass ein wirklicher Nutzen sowohl für die Studierenden als auch für die Dozenten entsteht (DITTLER, 2011).

(EHLERS et al., 2002) haben gezeigt, dass bereits im Jahr 2002 knapp 90% der Tiermedizinstudenten der Universität München einen eigenen PC besaßen bzw. Zugang zu einem PC hatten. Auch ergab eine Umfrage der Münchener Fachschaft Tiermedizin bei den Bibliotheken Veterinärmedizinischer Ausbildungsstätten in Deutschland, Österreich und der Schweiz, dass ein reges Interesse an der Nutzung von Lernprogrammen besteht (BIELOHUBY et al., 2004).

Trotz der oben genannten Vorteile und des bestehenden Interesses von Seiten der Studenten ist E-Learning nach BOEKER und KLAR (2006) in medizinischen Fakultäten in Deutschland noch nicht in dem Ausmaß etabliert, wie es zu erwarten wäre. Die Autoren vertreten die Auffassung, dass die Bereitstellung von E-Learning eher eine politische und organisatorische Frage und weniger ein technisches Problem sei. So müssten v. a. persönliche Vorbehalte von Dozenten gegenüber dem E-Learning und organisatorische Hindernisse wie z.B. eine fehlende Planung und dauerhafte Sicherstellung von personellen, finanziellen und räumlichen Ressourcen aus dem Weg geräumt werden (BOEKER und KLAR, 2006).

Diese Probleme sind jedoch nicht unlösbar: Eine nachhaltige Implementation von E-Learning wurde u.a. an den Hochschulen von Basel, Zürich, St. Gallen, Stuttgart und der freien Universität Berlin durchgeführt (GERM und MANDL, 2009).

2.2 Erstellung eines Lernprogramms

2.2.1 Planung

Bevor mit der Realisierung eines Lernprogramms begonnen wird, sollte man einige entscheidende Fragen klären. Diese betreffen den Inhalt, die Form und das Ziel des Programms, die Zielgruppe, an die sich das Programm wendet, sowie die technische Umsetzung. Der folgende Fragenkatalog ist THIEDE (2004) entlehnt.

1. Welcher Inhalt soll mit dem Lernprogramm vermittelt werden? Wie ist er gegliedert?

Der Inhalt des Lernprogramms umfasst die klinisch-topografische Anatomie der Vordergliedmaße des Hundes, so wie sie von den Studenten des vierten Semesters der Tiermedizin verlangt wird.

Die anatomischen Strukturen gliedern sich in die Themengebiete Skelett, Gelenke, Muskeln, Gefäße inklusive Lymphknoten und -gefäße, Nerven sowie Anhangsgebilde des Integumentum commune.

2. Für welche Zielgruppe ist das Lernprogramm gedacht?

Das Lernprogramm richtet sich hauptsächlich an die Studenten der Tiermedizin im ersten bis vierten Semester (Vorklinik). Aber auch für Studenten in der klinischen Phase des Studiums oder für praktizierende Tierärzte kann das Programm als Nachschlagewerk dienen.

3. Welches Ziel verfolgt das Lernprogramm?

Das Lernprogramm soll Studenten der Vorklinik bei der Erarbeitung des Lernstoffs unterstützen und ihnen als Prüfungsvorbereitung für das Physikum dienen. Zu diesem Zweck gibt es zu jedem Themengebiet einen Abschlusstest.

Für Studierende höherer Semester und praktizierende Tierärzte soll das Lernprogramm ein schnell und unkompliziert zu handhabendes Nachschlagewerk darstellen.

4. Welche technischen Mittel sollen genutzt werden?

Computer, CD oder DVD, Betriebssystem

Scanner, Digitalkamera

Autorenprogramm bzw. Programmiersprache, Bildbearbeitungsprogramm, Programm zur Bearbeitung von CT-Bildern

2.2.2 Durchführung

2.2.2.1 Auswahl der Programmiersprache

Eine essentielle Entscheidung vor Beginn der Programmierung eines Lernprogramms ist die Auswahl der Programmiersprache (z.B. C++, HTML, Flash) sowie die Entscheidung, ob ein Autorentool verwendet oder im Quellcode programmiert werden soll. Autorentools erleichtern die Erstellung eines Lernprogramms, da Texte, Grafiken etc. einfach in vorgefertigte Masken eingesetzt werden (EHLERS und FRIKER, 2003). Beispiele für Autorentools sind Toolbook, Adobe Authorware® oder Adobe Director®. Sie beinhalten jedoch auch einige Nachteile. So arbeiten die meisten Autorentools mit einer proprietären Programmiersprache, so dass eine Bearbeitung des Lernprogramms stets den Besitz der Lizenz des Autorentools voraussetzt. Weiterhin müssen solcherart erstellte Lernprogramme auf dem Zielcomputer installiert sein, was zum einen eine Abhängigkeit von der dort befindlichen Systemumgebung mit sich bringt – die meisten Programme sind nur auf einer oder wenigen Plattformen lauffähig – und zum anderen die Distribution von Updates erschwert, weil neue Versionen auf jedem Computer einzeln über die alte Version installiert werden müssen (HAAG, 1998).

Einen Vorteil bietet hier die Hypertext Markup Language (HTML). Sie wurde für das Internet entwickelt und vom **World Wide Web Consortium (W3C)**, dem Gremium zur Standardisierung der das World Wide Web betreffenden Techniken vereinheitlicht (CONSORTIUM, 2012). Mit ihr können plattformunabhängige, netzbasierte Lernprogramme realisiert werden, für deren Darstellung lediglich ein Internetbrowser benötigt wird. (HAAG, 1998). Auch für HTML gibt es Editoren, z.B. Dreamweaver, die ähnlich zu Autorentools eine grafikbasierte Oberfläche (sog. WYSIWYG-Editoren) bieten und damit das Arbeiten erleichtern. Eine Bearbeitung des Quellcodes ist trotzdem stets möglich und erlaubt dem Autor eine große Flexibilität bei der Erstellung seines Lernprogramms.

2.2.2.2 Textauswahl und Textgestaltung

Das geschriebene Wort hat für das Lernen eine große Bedeutung. Daher kommt man auch bei der Erstellung eines Lernprogramms nicht darum herum, dem Lerner teilweise größere Mengen an Text auf dem Bildschirm zu präsentieren. Da das

Lesen am Bildschirm jedoch anstrengender ist als das Lesen eines Buches – die Lesegeschwindigkeit am Bildschirm ist um 20-30 % geringer als die beim Lesen eines Printtextes (BALLSTAEDT, 1997) -, sind bei der Textgestaltung einige Besonderheiten zu beachten (BALLSTAEDT, 1997; NIEGEMANN et al., 2008):

1. Durch eine Gliederung von Text in einzelne Abschnitte wird dem Lerner das Lesen und Verstehen des Textes deutlich erleichtert.
2. Überschriften untergliedern den Text in kleinere Einheiten und geben dem Lerner einen Hinweis auf den Inhalt des folgenden Abschnitts.
3. Die Wortwahl des Textes sollte auf den Lernenden abgestimmt sein, d.h. sich an seinem Wortschatz orientieren. Fremdworte sollten entweder sparsam eingesetzt oder mit einer für den Lerner verständlichen Formulierung eingeführt werden. Auch der Einsatz eines Glossars zur Erklärung der Fremdwörter ist möglich.
4. Der Satzbau sollte einfach und klar sein. Lange Schachtelsätze oder Füllfloskeln sollte man vermeiden. Benutzt man Synonyme, sollten diese der Zielgruppe geläufig sein.
5. Der Einsatz von Orientierungsmarken erleichtert dem Lerner ebenfalls das Lesen. So kann man mit Hilfe von Umrahmungen, farblicher Unterlegung oder sonstiger Kennzeichnung eines Textteils diesen als wesentlich hervorheben. Bei der Farbwahl sollte man auf gute Kontraste achten. Bestimmte Farbkombinationen wie rot - grün oder schwarz - blau z.B. sind ungeeignet für die Textgestaltung. Mit Hilfe von Aufzählungszeichen, Nummerierungen oder Piktogrammen am Textrand kann man einen Text auf vielfältige Weise strukturieren. Man sollte jedoch nicht zu viele Orientierungsmarken in einem Text platzieren, da sonst die Übersicht verloren geht und sich die Wirkung der einzelnen Marken aufhebt.
6. Unter typografischen Gesichtspunkten ist eine möglichst serifenlose Schrift mit der Schriftgröße 12 bis 14 Punkte empfehlenswert. Möchte man verschiedene Schriftarten verwenden, sollte man sich auf zwei beschränken. Da kursive Schrift schwerer zu lesen ist als fett gedruckte, eignet sich letztere besser für Hervorhebungen. Diese sollten jedoch nicht zu viele Wörter umfassen, um den hervorhebenden Charakter nicht zu verlieren. Der Zeilenabstand im Text sollte so gewählt sein, dass die Zeile mühelos und ohne ablenkende Seitensprünge durchmustert werden kann (NIEGEMANN et al., 2008).

2.2.2.3 Grafiken

Grafiken bilden neben Text den Grundbaustein eines jeden Lernprogramms. Neben den inhaltlichen Bildern dienen sie auch als Bedien- und Navigationselemente wie z.B. Buttons, Aufzählungszeichen oder Symbole zur Textergänzung.

Für die Gestaltung von Grafiken gilt es eine Reihe von Regeln zu beachten (BALLSTAEDT, 1997):

1. Der Inhalt der Grafik sollte sich auf Wesentliches konzentrieren, ohne jedoch den Bezug zum Gesamtkontext zu verlieren.
2. Wichtige Details sollten hervorgehoben werden.
3. In komplexen Darstellungen sollten zusammengehörende Details optisch gruppiert werden.
4. Einzelne Details können durch farbliche Markierung, Pfeile, Umrahmungen etc. optisch hervorgehoben werden. Dabei darf jeweils nur eines dieser Elemente gleichzeitig genutzt werden. Außerdem muss die Anzahl der Hervorhebungen begrenzt sein, um eine gegenseitige Nivellierung zu vermeiden.
5. Bei begrenzter Lernzeit und klar definierten Lernzielen sind Strichzeichnungen detailreichen Fotos vorzuziehen, denn mit ihnen können Inhalte flexibel durch Weglassen oder Hervorheben von Details gestaltet werden. Bei unbegrenzter Lernzeit ergeben Fotos den besseren Lernerfolg.
6. Die Größe der Grafik ist an dessen Komplexität anzupassen: je komplexer der Inhalt, desto größer die Grafik.

Unter technischen Gesichtspunkten ist das Dateiformat für Grafiken von Bedeutung. Für Webseiten haben sich die drei Grafikformate **GIF** (Graphics Interchange Format), **JPEG** (Joint Photographic Experts Group) und **PNG** (Portable Network Graphics) durchgesetzt.

Dateien des GIF-Formats haben die Dateiendung .gif. Die Vorteile dieses Formats liegen zum einen in seinem hohen verlustfreien Kompressionsvermögen, wodurch GIF-Grafiken online sehr schnell geladen werden können, und in der Möglichkeit, transparente Bereiche zu definieren. Auch bietet das Format die Möglichkeit, mehrere Grafiken in einer einzigen Grafikdatei zu speichern und diese zeitlich zu steuern (Animierte GIF-Grafiken, Animated GIFs). Eine Schwachstelle des Formats ist seine eingeschränkte Farbpalette mit maximal 256 Farben. Für hochauflösende Grafiken wie Fotos ist dieses Format daher nicht sehr gut geeignet, ideal hingegen für Cliparts oder Bedienelemente wie Buttons o.ä. (s.o.) (SELFHTML, 2007a).

Dateien des JPEG-Formats haben i.d.R. die Dateiendung .jpg (daneben existieren auch die Endungen .jpeg und .jpe). Wie das GIF-Format komprimiert das JPEG-

Grafikformat ebenfalls sehr gut, allerdings nicht verlustfrei. Mit steigendem Kompressionsfaktor sinkt die Qualität der Grafik. Kompressionsverluste entstehen vor allem bei scharfen Farbübergängen im Bild, also bei Ecken und Kanten, Ränder wirken "ausgefranst". Für Bilder mit wenigen Farben und klaren Konturen ist das JPEG-Format daher nicht gut geeignet. Seine Stärke zeigt das Format hingegen beim Abspeichern von Fotos und anderen Grafiken, in denen sehr feine Farbverläufe vorkommen, da es mit dem gesamten Farbspektrum arbeitet und pro Bild bis zu 16,7 Millionen Farben speichern kann (SELFHTML, 2007a).

Dateien des PNG-Formats haben die Dateiendung .png. Das PNG-Grafikformat wurde eigens für den Einsatz im Web konzipiert und vom W3-Konsortium normiert. Es soll die Vorteile von GIF und JPG vereinen. Unter anderem bietet es folgende Eigenschaften:

PNG komprimiert wie das GIF-Format ohne Verluste. Der Kompressionsalgorithmus arbeitet dabei ähnlich dem des ZIP-Formats. Wiederkehrende Pixelmuster im Bild werden durch Meta-Informationen über diese Muster ersetzt, wodurch v.a. Grafiken wie Cliparts oder Schriftzüge gut komprimiert werden können. Fotos und Grafiken mit vielen feinen Farbübergängen lassen sich mit diesem Algorithmus dagegen weniger stark komprimieren.

PNG unterstützt wie das JPEG-Format 16,7 Mio. Farben. Man kann aber auch mit indizierten Farben (einer begrenzten Farbpalette) arbeiten. Damit ist das Format flexibel und für jegliche Art von Grafik nutzbar. Zusätzlich zu den drei Grundfarbwerten Rot, Grün und Blau kann das PNG-Format als vierten Wert pro Pixel den Alphakanal als Transparenzgrad des Pixels speichern. Damit können feiner abgestufte Transparenz-Effekte erzielt werden als mit dem GIF-Format.

Das PNG-Format ermöglicht, dass Zusatzinformationen zum Bild abgespeichert werden, darunter auch der Gammawert, der z.B. bei der Aufnahme eines Fotos maßgeblich war. Der anzeigende Web-Browser könnte mit Hilfe dieser Information bei der Anzeige des Bildes eine automatische Gammakorrektur abhängig vom eingesetzten Bildschirm und Betriebssystem vornehmen, wodurch vermieden wird, dass dieselbe Grafik abhängig von Bildschirm oder Betriebssystem unterschiedlich dargestellt wird.

Das PNG-Format stellt eine bedeutende Konkurrenz zum GIF-Format dar (weniger als zum JPEG-Format, denn die PNG-Dateigrößen von hoch auflösenden Fotos sind nicht sonderlich web-freundlich). Sein einziges Problem ist die zögerliche Unterstützung bei der Software. Es wird zwar von den neueren Browsergenerationen unterstützt, und von immer mehr Grafikprogrammen beherrscht, aber trotzdem gab

es bei einzelnen Browser-Zwischenversionen wieder Ausfälle bei der PNG-Unterstützung (SELFHTML, 2007a).

Unabhängig vom Dateiformat besteht eine Pixelgrafik immer aus einer Anzahl von Bildpunkten, den Pixel. Die Breite der Grafik entspricht der horizontalen Anzahl der Pixel, die Höhe entsprechend aus der vertikalen Anzahl der Pixel. Solange Pixelgrafiken nur für den Einsatz am Bildschirm verwendet werden, sind die Breiten- und Höhenangabe in Pixel ausreichend. Sobald jedoch eine Pixelgrafik auf einem anderen, nicht pixel-orientierten Medium ausgegeben z.B. ausgedruckt werden soll, muss festgelegt werden, welchen Raum ein Pixel auf dem Papier einnehmen soll. Je dichter die Pixel zusammen liegen, desto feiner ist die Auflösung des ausgedruckten Bildes. Diese Dichte wird in Dots per Inch (dpi) angegeben (SELFHTML, 2007b).

2.3 Anatomische Strukturen an der Vordergliedmaße des Hundes

2.3.1 Skelettsystem

2.3.1.1 Knochen der Schultergliedmaße

Die Knochen, aus denen sich die Schultergliedmaße zusammensetzt, die **Ossa membri thoracici**, bilden das Skelett der Vordergliedmaße. Diese gliedert sich in den Schultergürtel, **Cingulum membri thoracici**, die Gliedmaßensäule, **Brachium und Antebrachium**, und die Gliedmaßenspitze, **Manus** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; SALOMON, 2008a). Die genaue Unterteilung und ihre jeweilige Bezeichnung ist in Tab. 1 angegeben.

Gliedmaßenabschnitt			Skelett
Gliedmaßengürtel	Cingulum	Schulter(-gürtel)	(Rabenschnabelbein) Schlüsselbein Schulterblatt
Gliedmaßensäule	Stylopodium	Brachium	Oberarmbein
	Zeugopodium	Antebrachium	Speiche Elle
Gliedmaßenspitze	Autopodium	Manus	
	Basipodium	Carpus	Vorderfußwurzelknochen
	Metapodium	Metacarpus	Vordermittelfußknochen
	Acropodium	Digiti manus	Knochen der Vorderzehen

Tab. 1: Abschnitte der Schultergliedmaße und ihre knöcherne Grundlage, nach SALOMON (2008a)

2.3.1.1.1 Schultergürtel

Der Schultergürtel verbindet die Schultergliedmaße mit dem Rumpf und setzt sich aus drei Knochen zusammen: dem Rabenschnabelbein, **Coracoid**, dem Schlüsselbein, **Clavicula**, und dem Schulterblatt, **Scapula** (NICKEL et al., 2004c).

Rabenschnabelbein, Coracoid

Das Rabenschnabelbein ist bei den Haussäugetieren zu einem einfachen Fortsatz, dem Rabenschnabelfortsatz, **Proc. coracoideus**, zurückgebildet, der medial an der Schulterblattbeule sitzt (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c).

Schlüsselbein, Clavicula

Hund und Katze besitzen im Gegensatz zu den anderen Haussäugetieren ein rudimentäres knöchernes Schlüsselbein im Verschmelzungsbereich der beiden Anteile des M. brachiocephalicus. Seine Form ist bei der Katze dünn, gebogenstabförmig, beim Hund eher platt und unregelmäßig geformt, die Länge beträgt bei der Katze 20-50 mm, beim Hund nur 6-12 mm. (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c) Auf lateralen Röntgenaufnahmen ist das Schlüsselbein des Hundes i.d.R. nicht zu sehen, auf dorsoventralen Aufnahmen des Nackens und des kranialen Thoraxbereichs hingegen schon (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b).

Schulterblatt, Scapula

Das Schulterblatt ist ein unregelmäßig dreiseitiger platter Knochen, der mit dem kranialen Bereich des Brustkorbs in kranioventraler Ausrichtung seiner Längsachse bindegewebig-muskulös verbunden ist. An seinem proximalen, wirbelseitig gelegenen Rand, dem **Margo dorsalis**, liegt der beim Fleischfresser nur als schmaler Knorpelsaum ausgebildete Schulterblattknorpel, **Cartilago scapulae**, an (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Zusammen mit Hals- bzw. Achselrand, **Margo cranialis** und **Margo caudalis**, bildet der Margo dorsalis den Nackenwinkel, **Angulus cranialis**, und den gut tastbaren Rückenwinkel, **Angulus caudalis**. Nach distal verjüngt sich das Schulterblatt und bildet das **Collum scapulae**, welches die proximale Platte vom distalen Gelenkende trennt. An letzterem bilden Margo cranialis und caudalis den Gelenkwinkel, **Angulus ventralis**, wo die flache Gelenkpfanne, **Cavitas glenoidalis**, ausgebildet ist, die mit dem Oberarmkopf im Schultergelenk artikuliert (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Auf der Lateralfäche, **Facies lateralis**, bildet die Schulterblattgräte, **Spina scapulae**, eine markante Struktur, die als tastbarer Knochenpunkt die Lage des Schulterblatts

markiert. Sie erstreckt sich über die gesamte Länge des Schulterblatts und teilt so die Lateralfäche in die beiden beim Fleischfresser nahezu gleich großen Grätengruben, kranial die annähernd D-förmige **Fossa supraspinata** und kaudal die dreieckige **Fossa infraspinata** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Sie nimmt von proximal nach distal bis etwa zur Mitte des Schulterblatts an Höhe zu, behält diese Höhe dann bei und fällt in Schultergelenknähe steil ab (NICKEL et al., 2004c). An dieser Stelle ist sie verbreitert und bildet das Gräteneck, **Acromion** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Beim Fleischfresser ist das Acromion nach distal zum **Proc. hamatus** ausgezogen, das Acromion der Katze besitzt zusätzlich einen nach kaudal weisenden **Proc. suprahamatus** (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Die Medialfläche, auch Rippenfläche, **Facies costalis** seu **medialis**, liegt den ersten fünf Rippen und den benachbarten vier oder fünf Brustwirbeln an (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b). In ihrem Zentrum liegt die flache Vertiefung **Fossa subscapularis**, und darüber, im proximalen Bereich, die angeraute **Facies serrata** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Im distalen Schulterblattbereich, nahe dem Collum scapulae, ist der dünne Margo cranialis zur **Incisura scapulae** eingezogen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). An dieser Stelle windet sich der N. suprascapularis um den kranialen Schulterblattrand (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a). Auf Höhe des Schultergelenks ragt der Margo cranialis in Form der Schulterblattbeule, **Tuberculum supraglenoidale**, kranial hervor (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). An ihr entspringt der M. biceps brachii (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a). Durch traumatisch bedingten Zug an der Bizepssehne kann das Tuberculum supraglenoidale ausgerissen werden (SALOMON, 2008a). Medial an der Schulterblattbeule sitzt der beim Hund nur undeutlich als kleine Warze ausgebildete Rabenschnabelfortsatz, **Proc. coracoideus** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Als rudimentäres Überbleibsel besitzt er pränatal noch einen eigenen Ossifikationskern (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b).

Am dickeren Achselrand befindet sich oberhalb der Gelenkpfanne das **Tuberculum infraglenoidale** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Laut NICKEL et al. (2004c) ergibt sich die Architektur des Schulterblatts durch die funktionellen Ansprüche einer Verteilung des Gelenkdrucks durch das Schultergelenk sowie einer ergonomisch günstigen Belastung der Gliedmaße. Dies wird durch die dreieckige Rahmenkonstruktion erreicht, die durch die mittig verlaufende Spina scapulae noch verstärkt wird. Diese nimmt den Druck aus dem Schultergelenk auf und verteilt ihn gleichmäßig. Dabei wird der distale und kaudale Bereich des Schulterblatts stärker beansprucht, was sich in der stärkeren Ausbildung des Achselrandes, des Margo ventralis, des Collum scapulae sowie der Spina scapulae ausdrückt. Der Schulterblattknorpel dient zusätzlich der Stoßdämpfung. Für eine günstige Ergonomie sorgt die mediale Biegung der distalen Anteile des Schulterblatts, indem sie es der Form des Brustkorbs anpasst (NICKEL et al., 2004c).

2.3.1.1.2 Skelett des Oberarms

Oberarmbein, Humerus

Der Humerus bildet die knöcherne Grundlage des Oberarms, **Brachium**, und ist somit das proximale Glied (**Stylopodium**) der Gliedmaßensäule der freien Schultergliedmaße. Er gehört zu den langen Röhrenknochen und besteht aus einem proximalen und einem distalen Endstück, **Extremitas proximalis** und **Extremitas distalis**, sowie aus einem Mittelstück, **Diaphyse**, oder auch Körper, **Corpus humeri** (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c). Nach EVANS und DE LAHUNTA (2013b) ist seine Größe und Form abhängig von der Rasse; NICKEL et al. (2004c) sagen, dass der Knochen v.a. beim Dackel und bei kurzbeinigen Terrierrassen stark gebogen ist.

An der Extremitas proximalis sitzt kaudal der längsovale Gelenkkopf, **Caput humeri**, für die Artikulation mit dem Schulterblatt. Er ist vom Körper durch einen deutlichen Hals, **Collum humeri**, abgesetzt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Laut EVANS und DE LAHUNTA (2013b) ist der Humeruskopf etwa doppelt so groß wie die Gelenkpfanne (Cavitas glenoidalis) des Schulterblatts. Kraniolateral und kraniomedial des Gelenkkopfs befinden sich kammförmige Fortsätze: lateral das beim Hund undeutlich in eine Pars cranialis und Pars caudalis geteilte **Tuberculum majus** und medial das ungeteilte, niedrigere **Tuberculum minus**. Zwischen den beiden Tubercula liegt der **Sulcus intertubercularis**, durch den die Ursprungssehne des M. biceps brachii verläuft (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Gemäß SALOMON

(2008a) markiert das Tuberculum majus unter der Haut als sicht- und tastbarer Knochenpunkt den kranialen Schulterpunkt.

Laterodistal des Tuberculum majus finden sich die **Facies musculi infraspinati** als flache Grube (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c) und kaudal angrenzend die **Tuberositas teres minor** in einem dreieckigen Bereich, der dorsal vom Tuberculum majus, kranial von der **Crista tuberculi majoris** und kaudal von der **Linea musculi tricipitis** begrenzt ist (SALOMON, 2008a).

Die **Crista tuberculi majoris** zieht als stumpfer Kamm vom Kranialrand des Tuberculum majus auf die Kranialfläche des Corpus humeri (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Die bei kleinen Hunden und Katzen oft sehr niedrige (NICKEL et al., 2004c) **Crista tuberculi minoris** zieht vom Tuberculum minus nach distal (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Gemäß NICKEL et al. (2004c) ist sie distal v.a. bei größeren Hunden oft angeraut und verbreitert. Laut Evans EVANS und DE LAHUNTA (2013b) findet sich hier, auf selber Höhe wie die Tuberositas deltoidea, die **Tuberositas teres major**, die laut LIEBICH et al. (2012), NICKEL et al. (2004c) und SALOMON (2008a) nur bei den Huftieren zu finden ist.

Auf der Lateralseite des Corpus humeri befindet sich im proximalen Drittel der Armbeinhöcker, **Tuberositas deltoidea**, der nach distal in die Armbeinleiste, **Crista humeri**, übergeht (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). In proximaler Richtung zieht aus ihm die proximokaudal gerichtete **Linea musculi tricipitis**, die in gebogenem Verlauf zur Grenze zwischen Tuberculum majus und Caput humeri (NICKEL et al., 2004c) bzw. zur Tuberositas teres minor (LIEBICH et al., 2012) verläuft, sowie die Crista tuberculi majoris (SALOMON, 2008a). Laut NICKEL et al. (2004c) ist der Armbeinhöcker bei Katzen und kleinen Hunden in Form einer Rauigkeit nur angedeutet, während er sich bei größeren Hunden als flacher Kamm darstellt.

Weiter distal am Corpus humeri befindet sich die gewundene, von kaudal über lateral nach kranial verlaufende Armbeinmulde, **Sulcus musculi brachialis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a), die von zwei Leisten, proximomedial der **Crista humeri** und laterodistal der **Crista supracondylaris lateralis** begrenzt wird (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Laut EVANS und DE LAHUNTA (2013b) wird der Sulcus im proximalen Bereich medial von der Crista tuberculi majoris, lateral von der Linea musculi tricipitis begrenzt.

Am distalen Ende des Humerus sitzt im rechten Winkel zur Diaphysenachse der Gelenkknollen, **Condylus humeri**, der zusammen mit den Unterarmknochen das Ellbogengelenk bildet. Bei Hund und Katze besteht er medial aus der größeren Gelenkrolle, **Trochlea humeri**, und lateral aus dem kleineren Köpfchen, **Capitulum humeri** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Diese sind am ausgewachsenen Knochen nicht mehr gut zu erkennen, lassen sich jedoch beim Jungtier an zwei getrennten Ossifikationskernen nachvollziehen. An ihren Seitenflächen befinden sich jeweils eine Bandgrube und darüber ein Bandhöcker (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Bei der Katze sind laut NICKEL et al. (2004c) erstere schwach angedeutet, letztere hingegen kräftig ausgebildet.

Kaudal des Condylus befinden sich kräftige Muskelknollen, medial der stärkere Beugeknollen, **Epicondylus medialis**, und lateral der etwas schwächere Streckknollen, **Epicondylus lateralis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Von letzterem zieht die oben erwähnte Crista supracondylaris lateralis zur Kaudalfläche des Humerus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Oberhalb des Condylus, zwischen den Epicondylen, befindet sich eine tiefe Grube, **Fossa olecrani**, die bei Streckung des Gelenks den Ellbogenfortsatz, Proc. anconaeus, der Ulna aufnimmt. Auf der Kranialseite liegt die flache **Fossa radialis** zur Aufnahme des Radiuskopfes bei Beugung des Ellbogengelenks. Die beiden Gruben werden beim Hund vom **Foramen supratrochleare** verbunden (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a), welches bei kleinen Hunden fehlen kann (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; SALOMON, 2008a). Laut EVANS und DE LAHUNTA (2013b) ziehen durch dieses Loch keine Strukturen. Es ist von den Gelenkmembranen des kaudalen und kranialen Rezessus des Ellbogengelenks verschlossen. Die Katze besitzt kein Foramen supratrochleare; bei ihr findet sich proximal des Epicondylus medialis das spaltförmige **Foramen supracondylare** (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

(WAIBL und BRUNNBERG, 2012) beschreibt detailliert die Verknöcherungszentren des Oberarmknochens. So besitzt der Humerus des wachsenden Hundes eine proximale Wachstumsfuge, die sowohl das Caput humeri als auch die Tubercula majus und minus von der Diaphyse abtrennt. Im Röntgenbild ist sie bei mediolateralem Strahlengang als charakteristische dachgiebelförmige Linie zu sehen. Am distalen Ende besitzen Trochlea und Capitulum humeri eigene

Verknöcherungskerne, die etwa zwei Monate nach der Geburt miteinander verschmelzen und eine gemeinsame Epiphyse bilden.

Da die proximale Epiphysenfuge eine deutlich größere Wachstumspotenz besitzt als die distale, erfolgt das Längenwachstum des Humerus hauptsächlich nach proximal. Stauchungen und Frakturen an dieser Stelle haben daher für das weitere Wachstum des Knochens erheblichere Auswirkungen als Verletzungen an der distalen Wachstumsfuge (BUDRAS, 2012).

2.3.1.1.3 Skelett des Unterarms

Das Skelett des Unterarms, **Antebrachium**, besteht aus zwei Knochen, der Speiche, **Radius**, und der Elle, **Ulna** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Sie bilden das distale Glied (**Zeugopodium**) der Gliedmaßensäule (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Laut NICKEL et al. (2004c) sind bei der Katze Radius und Ulna nahezu gleich dick, während die Ulna des Hundes deutlich stärker ist als der Radius.

Der Radius liegt kranial der längeren Ulna, wobei diese den Radius so kreuzt, dass ihr proximales Ende kaudomedial, und ihr distales Ende lateral des Radius zu liegen kommt (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Zwischen den beiden Knochen befindet sich das schmale **Spatium interosseum antebrachii** (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a), welches laut NICKEL et al. (2004c) beim Hund schmaler ist als bei der Katze.

Die beiden Knochen sind geringgradig (Hund) bis mäßig (Katze) umeinander beweglich (NICKEL et al., 2004c) und ermöglichen so eine gewisse Pronation (Einwärtsdrehung) und Supination (Auswärtsdrehung) des Unterarms (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Speiche, Radius

Die Speiche ist ein im Querschnitt querovaler Röhrenknochen mit verbreiterten Gelenkenden und einem leicht kranial gekrümmten Schaft. Laut SALOMON (2008a) und EVANS und DE LAHUNTA (2013b) ist er der Hauptlastträger des Unterarms.

An seinem proximalen Endstück, **Extremitas proximalis**, sitzt der verdickte Speichenkopf, **Caput radii**, der vom Schaft, **Corpus radii**, durch einen mehr oder weniger deutlich ausgeprägten Hals, **Collum radii**, abgesetzt ist (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Auf der Proximalfläche des Kopfes liegt die flache, leicht konkave **Fovea capitis radii** zur Artikulation mit dem Humerus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Diese Gelenkfläche wird durch die **Incisura trochlearis** der Ulna (s.u.) kaudal und medial ergänzt (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Auf jeder Seite des Speichenkopfs befindet sich ein Bandhöcker. Der mediale geht in die dorsomedial gelegene, schwache Speichenbeule, **Tuberositas radii**, über (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

EVANS und DE LAHUNTA (2013b) beschreibt zusätzlich einen lateralen Vorsprung am Speichenkopf, über den der M. supinator zieht und wo oftmals ein Sesambein ausgebildet ist.

Kaudal am Caput liegt die **Circumferentia articularis**. Sie ist Bestandteil der gelenkigen Verbindung zwischen Radius und Ulna (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Die Oberfläche des Schafts ist an ihrer Kaudalseite (**Facies caudalis**) an der Stelle, wo die Ulna am Radius anliegt, rau, sonst durchgehend glatt. Der Margo medialis wird nur von Haut bedeckt und ist als Planum cutaneum^{*)} tastbar (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Am distalen Endstück, Extremitas distalis, befindet sich die quergestellte Speichenwalze, **Trochlea radii**, die mit einer zweigeteilten, konkaven **Facies articularis carpea** eine gelenkige Verbindung mit den Karpalknochen eingeht (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). SALOMON (2008a) schreibt, dass durch die Form der Gelenkfläche neben reiner Beuge- und Streckbewegung auch ggr. Abduktions-, Adduktions- und Rotationsbewegung im antebrachiokarpalen Gelenk möglich ist. An ihrer Medialfläche ragt der mediale Bandhöcker, **Proc. styloideus radii**, hervor, auf der Lateralseite ist die **Incisura ulnaris radii** eingezogen. Proximal der Speichenwalze sitzt an der Kaudalfläche eine Bandleiste, **Crista transversa**, und an der Kranialfläche befinden sich drei Sehnenrinnen für die Endsehnen der Streckmuskeln M. abductor pollicis longus, M. extensor carpi radialis und M. extensor digitorum communis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Der Radius besitzt eine proximale und eine distale Wachstumsfuge. Das Wachstumspotential der distalen Fuge ist mit 60 % leicht größer als das der

^{*)} kein NAV-Terminus

proximalen Fuge (40 %). Ein durch Verletzung bedingter vorzeitiger Verschluss der Wachstumsfugen kann einen verkürzten Radius zur Folge haben (Short-Radius-Syndrom), der mit einer Rotation der Pfote (Varusdeformation) und evtl. mit einer Subluxation des Ellbogengelenks einhergeht. (BUDRAS, 2012)

Elle, Ulna

Die Elle ist ein Röhrenknochen mit dem Kopf, **Olecranon**, am proximalen Endstück, dem Schaft, **Corpus ulnae**, und **Caput ulnae** am distalen Endstück. Das Olecranon überragt den Radius deutlich (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Es zählt zu den gut sicht- und tastbaren Knochenpunkten (LIEBICH et al., 2012). An seinem freien Ende ist es zum Ellbogenhöcker, **Tuber olecrani**, verdickt. Zum Radius hin ist die deutliche **Inc. trochlearis** eingezogen. Sie ergänzt die Gelenkfläche des Radius bei der Artikulation mit dem Humerus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Laut NICKEL et al. (2004c) und EVANS und DE LAHUNTA (2013b) teilt ein Sagittalkamm die Incisura in eine etwas größere laterale und eine etwas kleinere mediale Fläche. Proximal der Incisura springt der Ellbogenfortsatz, **Proc. anconaeus**, distal beiderseits ein Kronenfortsatz, der kleinere **Proc. coronoideus lateralis** und der deutlich größere **Proc. coronoideus medialis**, nach kranial vor (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Zwischen den beiden Kronenfortsätzen befindet sich die **Inc. radialis ulnae** zur Artikulation mit der Circumferentia articularis des Radius (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Der Schaft ist dreieckig und wie der des Radius leicht kranial gekrümmt. An der kranialen, dem Radius zugewandten Fläche, sitzt der lange und angeraute **Margo interosseus** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c).

Das Caput ulnae bildet den lateralen Bandhöcker, **Proc. styloideus ulnae**, über den eine Sehnenrinne führt. Er ist gelenkig durch die **Circumferentia articularis ulnae** mit der Incisura ulnaris des Radius verbunden (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Distal artikuliert die **Facies articularis carpea** mit den Karpalknochen Os carpi ulnare und Os carpi accessorium (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Das größte Längenwachstum der Ulna erfolgt mit 80 % in der distalen Wachstumsfuge. Dieses Wachstum kann durch verschiedenste Ursachen beeinträchtigt werden - genetisch (bei chondrodystrophen Hunderassen wie z.B.

Dackel, Basset), traumatisch oder alimentär - und eine Verkürzung und Verbiegung der Ulna (Short-Ulna-Syndrom) mit Stufenbildung im Ellbogengelenk und/oder Karpalgelenk zur Folge haben. In der Folge einer verkürzten Ulna kommt es zu einer Verbiegung des Radius und einer Lateralbiegung der Pfote (Valgusdeformation) (BUDRAS, 2012).

Über die klinische Bedeutung der Processus am Ellbogen schreiben BUDRAS (2012) und SALOMON (2008a).

Eine Apophysenlösung tritt beim Hund am häufigsten am Proc. anconaeus auf (SALOMON, 2008a). Dieser stabilisiert das gestreckte Ellbogengelenk gegen Seitwärts- und Rotationsbewegungen. Eine Ablösung, die als isolierter oder fragmentierter Proc. anconaeus bezeichnet wird und zum Komplex der Ellbogengelenksdysplasie zählt, führt zur Instabilität des Gelenks und damit zur Arthrosenbildung (BUDRAS, 2012). Ein isolierter Proc. anconaeus kommt v.a. bei großwüchsigen Hunderassen (z.B. Deutscher Schäferhund) vor, bei denen der Processus anconaeus einen eigenen Ossifikationskern besitzt, welcher i.d.R. um den vierten Lebensmonat mit dem Hauptteil der Ulna verschmilzt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c). Bleibt die Verschmelzung aus (nach der 20. Lebenswoche ist noch eine Wachstumsfuge zu erkennen), liegt ein isolierter Proc. anconaeus vor. Dieses Krankheitsbild ist demnach nicht Folge eines Traumas, sondern bedingt durch Wachstumsstörungen, die auf fehlerhafter Ernährung und Aufzucht, aber auch genetischen Faktoren beruhen können (BUDRAS, 2012). Kleinwüchsige Rassen besitzen weder einen Verknöcherungskern noch eine Wachstumsfuge, so dass ein fragmentierter oder isolierter Proc. anconaeus bei ihnen nicht auftritt (BUDRAS, 2012).

Die Fraktur des Proc. coronoideus medialis stellt ebenfalls eine Manifestation des Krankheitskomplexes Ellbogengelenksdysplasie dar. Der Proc. coronoideus medialis kann v.a. bei jungen Hunden großer, schnell wachsender Rassen (z.B. Berner Sennenhund, Rottweiler) durch verzögertes Wachstum des Radius (Short-Radius-Syndrom, s.o.) und/oder eine Inkongruenz der Gelenkflächen von Humerus und Ulna frakturieren (SALOMON, 2008a). Dabei sind Rüden deutlich häufiger betroffen als Hündinnen (BUDRAS, 2012).

2.3.1.1.4 Skelett des Vorderfußes

Das Skelett des Vorderfußes (Gliedermaßenspitze, Autopodium) besteht von proximal nach distal aus den Vorderfußwurzelknochen, **Ossa carpi**, den Vordermittelfußknochen, **Ossa metacarpalia**, und den Vorderzehenknochen, **Ossa**

digitorum manus. Die Flächen des Vorderfußes sind dorsal der Vorderfußrücken, **Dorsum manus**, und palmar die Vorderfußsohlenfläche, **Palma manus**. (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a)

Skelett der Vorderfußwurzel, Ossa carpi

Die Vorderfußwurzel besteht aus einer proximalen, antebrachialen und einer distalen, metakarpalen Knochenreihe (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Von der ursprünglich angelegten mittleren oder interkarpalen Reihe finden sich Reste nur noch während der Fetalentwicklung; einige Wochen nach der Geburt sind diese i.d.R. mit Knochen aus der proximalen Reihe verschmolzen (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Die antebrachiale Reihe steht nach proximal in gelenkiger Verbindung zu Radius und Ulna (Unterarm-Vorderfußwurzel-Gelenke, *Articulationes antebrachio-carpeae*), die metakarpale Reihe artikuliert nach distal mit den Metakarpalknochen (Vorderfußwurzel-Mittelfuß-Gelenke, *Articulationes carpometacarpeae*) (LIEBICH et al., 2012). Untereinander artikulieren die beiden Reihen in den Vorderfußmittelfußgelenken, *Articulationes mediocarpeae* (LIEBICH et al., 2012).

Die antebrachiale Reihe besteht beim Fleischfresser aus drei Knochen: von medial nach lateral sind dies das **Os carpi intermedioradiale** (**Cr+i** eine Verschmelzung der ursprünglichen Knochen *Os carpi radiale* (Cr) und *Os carpi intermedium* (Ci)), das **Os carpi ulnare** (**Cu**) und das **Os carpi accessorium** (**Ca**) (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Das *Os carpi accessorium* besitzt eine zylindrische Form und ragt etwas aus der Handebene nach palmar heraus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b). NICKEL et al. (2004c) bezeichnet es auch als karpales Sesambein.

Die metakarpale Reihe zählt vier Knochen, deren Größe von medial nach lateral zunimmt. Sie werden von medial nach lateral durchnummeriert und heißen **Os carpale primum / secundum / tertium / quartum** (**C I bis C IV**) (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Skelett des Vordermittelfußes, Ossa metacarpalia

Das Skelett des Metacarpus besteht aus den fünf langgestreckten Mittelfußknochen, **Ossa metacarpalia**, die, ebenso wie die *Ossa carpalia* der Vorderfußwurzel, von medial nach lateral durchnummeriert werden: **Os metacarpale primum / secundum / tertium / quartum / quintum** (**Mc I bis Mc V**). Die mittleren beiden Knochen, Mc III und Mc IV, sind die längsten, sie sind die Hauptmittelfußknochen. Ihr Querschnitt ist vierkantig. Die seitlich anliegen Mc II und Mc V sind dreikantig und etwas kürzer, sie

werden als Nebenmittelfußknochen bezeichnet. Mc I ist noch stärker verkürzt und deutlich dünner als die anderen Knochen (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). EVANS und DE LAHUNTA (2013b) beschreibt den Querschnitt von Mc III und Mc IV als dreikantig, und den von Mc II und Mc V als vierkantig.

Am Proximalende, **Basis**, besitzt jeder Metakarpalknochen eine ebene Gelenkfläche für die Artikulation mit den Karpalknochen. Zur Verbindung mit den Nachbarelementen besitzen Mc II bis Mc IV beiderseits, Mc I lateral und Mc V medial Kontaktflächen. Weitere Strukturmerkmale sind ein proximaler Bandhöcker lateral am Mc V und Rauigkeiten dorsal an der Basis von Mc II und Mc III (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Der **Corpus** geht distal in das **Caput** über, an dem je eine Gelenkwalze, **Trochlea**, für die Artikulation mit dem ersten Zehenglied ausgebildet ist; daneben finden sich beidseitig Bandhöcker und Bandgruben (NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Bei Mc II bis Mc V teilt ein Sagittalkamm die Palmarseite der Gelenkwalze für die Artikulation mit den paarigen Sesambeinen des Zehengrundgelenks (siehe unten) (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Da am Mc I i.d.R. nur ein einzelnes Sesambein ausgebildet ist, fehlt er hier gewöhnlich (NICKEL et al., 2004c).

Skelett der Vorderzehen, Ossa digitorum manus

Der Fleischfresser besitzt alle fünf Zehen der phylogenetischen Ausgangsform. Die Zehen 2 bis 5 bestehen aus je drei Zehenknochen, **Ossa digitorum manus**: der Grundphalange, **Phalanx proximalis**, der Mittelphalange, **Phalanx media** und der Endphalange, **Phalanx distalis**. Die Phalangen der Zehen 3 und 4 sind länger und kräftiger als die der Zehen 2 und 5. Die 1. Zehe (Daumen, **Pollex**) ist zweigliedrig, ihr fehlt die Phalanx media. Sie ist deutlich kürzer als die anderen Zehen und nimmt nicht an der Fußung teil (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Bei manchen Rassen, z.B. Bernhardinern, kann sie doppelt ausgebildet sein (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b).

Die Phalanges proximalis und media ähneln in ihrem Aufbau den Ossa metacarpalia, nur ist ihr Körper, **Corpus**, deutlich kürzer. An ihrem Proximalende, **Basis**, sitzt jeweils eine Gelenkvertiefung, **Fovea articularis**, die bei der Phalanx media noch durch einen axialen Sagittalkamm geteilt ist, sowie seitliche Bandhöcker. Ihr Distalende, **Caput**, trägt je eine Gelenkwalze, seitliche Bandhöcker und Bandgruben, die an der Phalanx media markanter gestaltet sind und weiter dorsal liegen (NICKEL et al., 2004c).

Die Phalanx distalis entspricht in Form und Aufbau dem Zehenendorgan, der Kralle. Sie heißt entsprechend Krallenbein, **Os unguiculare**. Das Krallenbein ist hakenförmig nach palmar gebogen und seitlich abgeplattet. An ihm werden drei Flächen unterschieden: eine Gelenkfläche, **Facies articularis**, zur Artikulation mit der Phalanx media, eine Wandfläche, **Facies parietalis**, mit einem Rücken- und zwei Seitenabschnitten und eine Sohlenfläche, **Facies solearis**. Proximal ist das Krallenbein verdickt: palmar zum Ballenhöcker, **Tuberculum flexorium**, an dem sich zu beiden Seiten das Krallenloch, **For. soleare axiale et abaxiale**, zum Durchtritt von Blutgefäßen öffnet; seitlich und dorsal zur Krallenleiste, **Crista unguicularis**, die nach distal hervorragt und so den Krallenfalz, **Sulcus unguicularis**, bildet (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Diese überragt die Basis des krallentragenden **Processus unguicularis** (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013b). BUDRAS (2012) und EVANS und DE LAHUNTA (2013b) beschreiben weiterhin einen kleinen **Processus extensorius** proximodorsal an den Phalanges distales der Hauptzehen.

Sesambeine, Ossa sesamoidea

Sesambeine, **Ossa sesamoidea**, finden sich beim Fleischfresser am Karpus und an den Zehen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

Am Karpus sitzt das **Os sesamoideum musculi abductoris pollicis longi** auf der Palmarfläche im Winkel zwischen Cr+i, C I und Mc I in der Endsehne des M. abductor pollicis longus. Es ist auf Röntgenaufnahmen deutlich zu erkennen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Zwei (laut SALOMON (2008a) zwei bis drei) weitere Sesambeine, die **Ossa sesamoidea palmaria**, treten nur unregelmäßig zwischen den beiden Knochenreihen auf (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a).

An den Zehen finden sich Sesambeine am Zehengrundgelenk, **Art. metacarpophalangea**, sowie am Zehenendgelenk, **Art. interphalangea distalis**, jeder Zehe (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Sie ergänzen die Gelenkflächen. Am Zehengrundgelenk der 2. bis 5. Zehe befinden sich palmar die paarig ausgebildeten Gleichbeine, **Ossa sesamoidea proximalia**. An der 1. Zehe ist meist nur ein einzelner Knochen ausgebildet (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Jedes Sesambein hat eine dorsal gewandte Seite, **Facies articularis**, mit der es Kontakt zum jeweiligen Metakarpalknochen hat, und

eine palmare Seite, **Facies flexoria**, über die die jeweilige Beugesehne hinweg läuft (SALOMON, 2008a). EVANS und DE LAHUNTA (2013b) schreibt, dass die Sesambeine in den Ansatzsehnen der Mm. interossei liegen.

Am Zehenendgelenk aller Zehen ist das Sesambein zu einem knorpeligen Gleitdruckkörper umgebildet, dem **Sesamknorpel** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). Er liegt im palmaren Bereich der Gelenkkapsel (NICKEL et al., 2004c). Kleine knöcherne Gleitdruckkörper (Ossa sesamoidea dorsalia) kommen dorsal in der Kapsel des Zehengrundgelenks der 2.-5. Zehe vor (EVANS und DE LAHUNTA, 2013b; NICKEL et al., 2004c; SALOMON, 2008a). NICKEL et al. (2004c) und SALOMON (2008a) beschreiben außerdem knorpelige Gleitdruckkörper in den Strecksehnenschenkeln über den Zehenmittelgelenken, während EVANS und DE LAHUNTA (2013b) diese sowohl dorsal als auch palmar im Zehenendgelenk lokalisieren.

2.3.1.2 Gelenkige Verbindungen der Schultergliedmaße

2.3.1.2.1 Verbindung der Schultergliedmaße mit dem Rumpf

Die Schultergliedmaße ist mit dem Rumpf nicht knöchern verbunden, sondern an der Seitenwand des Thorax in Form einer Synsarkose (GILLE, 2008) bindegewebig-muskulös angeheftet. Der Rumpf ist somit durch die Schultergürtelmuskulatur, vornehmlich die Mm. serratus ventralis und pectorales, unterstützt durch Faszien, v.a. die Fascia spinocostotransversalis, an den Vordergliedmaßen aufgehängt (GILLE, 2008; NICKEL et al., 2004b). Näheres dazu siehe Kapitel 2.3.2.2.2. Dadurch können die Schultergliedmaßen die Körperlast im Stand und in der Bewegung elastisch abfedern (NICKEL et al., 2004b). Das Schulterblatt kann sich in begrenztem Umfang um eine Achse drehen, deren Drehpunkt am dorsalen Schulterblattrand in der Verlängerung der Spina scapulae liegt (SALOMON, 2008a). Diesen Drehpunkt bezeichnet man als **Rumpfschultergelenk** (GILLE, 2008; NICKEL et al., 2004b).

2.3.1.2.2 Schultergelenk, Art. humeri

Das Schultergelenk ist der Form nach ein Kugelgelenk, **Art. sphaeroidea**, bei dem der Humeruskopf mit der Gelenkpfanne der Scapula, Cavitas glenoidalis, artikuliert (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Eine faserknorpelige Lippe, **Labrum glenoidale**, vergrößert den freien Rand der Cavitas glenoidalis (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a). Die geräumige Gelenkkapsel wird durch kräftige kollagene und elastische Faserzüge, **Ligg. glenohumeralia**, in

der medialen und lateralen Wand verstärkt. Ebenfalls in der medialen Wand der Gelenkkapsel liegt die Endsehne des M. subscapularis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b). Nach kranial bildet die Gelenkkapsel ein Diverticulum um die Ursprungssehne des M. biceps brachii (Kapselsehnnenscheide des M. biceps brachii) (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a) und zieht dabei distal ca. 2 cm in den Sulcus intertubercularis hinein (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; SALOMON, 2008a). Das **Lig. transversum humeri** hält die Sehne in dieser Position (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012).

Das Schultergelenk besitzt keine deutlich abgesetzten Gelenkbänder. Stattdessen fungieren die Endsehnen des M. subscapularis medial und des M. infraspinatus zusammen mit der lateralen Zacke des M. supraspinatus lateral als kontraktile Spannbänder (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Durch diese Konstruktion wird die ursprünglich große Bewegungsfreiheit eines Kugelgelenks eingeschränkt. Seitwärtsbewegungen sind nur noch in geringem Umfang möglich, was das Schultergelenk funktionell zu einem Wechselgelenk macht (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Laut LIEBICH et al. (2012) können Fleischfresser die Gliedmaße um 120° beugen und strecken, aber nur um bis zu 60° abspreizen. BUDRAS (2012) gibt eine mögliche Beugung von 45-70°, Streckung von 10-30° und Abduktion von bis ca. 40° an.

Die Punktionsstelle am leicht gebeugten Gelenk liegt fingerbreit unter dem Acromion kaudal und proximal des Tuberculum majus humeri. Man sticht in horizontaler Ebene in mediokaudaler Richtung (BUDRAS, 2012; LIEBICH et al., 2012).

Luxationen des Schultergelenks können angeboren sein oder eine traumatische Ursache haben. Im ersteren Fall, der selten und dann vornehmlich bei kleinen Hunderassen wie z.B. Zwergpudel oder Shelties auftritt, handelt es sich in der Regel um eine Luxation des Humeruskopfes nach medial. Traumatisch bedingte Luxationen, die sich eher bei größeren Hunderassen finden, sind in den meisten Fällen mit einer Luxation des Humeruskopfes nach medial oder lateral verbunden, Luxationen nach kranial oder kaudal sind selten (REIF et al., 2011; SCHULZ, 2011). BUDRAS (2012) hebt hervor, dass die Gelenkfläche des Humeruskopfes in ihrem kaudalen Abschnitt aufgrund hoher mechanischer Belastung prädisponiert ist für Schäden des Gelenkknorpels im Sinne einer Osteochondrosis dissecans (OCD). Dieser Erkrankung liegen eine fehlerhafte enchondrale Ossifikation sowie eine partielle Fehlentwicklung des Gelenkknorpels zugrunde.

2.3.1.2.3 Ellbogengelenk, Art. cubiti

Das Ellbogengelenk ist ein zusammengesetztes Walzengelenk, in dem Trochlea und Kapitulum am Distalende des Humerus mit der Fovea capitis des Radius und der Incisura trochlearis der Ulna artikulieren (**Art. humeroradialis** und **Art. humeroulnaris**) (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Das proximale Radioulnargelenk, Art. radioulnaris proximalis, wird ebenfalls zum Ellbogengelenk gezählt, aber erst weiter unten zusammen mit dem distalen Gelenk besprochen.

Funktionell ist das Ellbogengelenk ein Wechsel- oder Scharniergelenk, das ausschließlich Beuge- und Streckbewegungen zulässt (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b). Seitwärtsbewegungen werden durch die kräftigen Seitenbänder sowie den Proc. anconaeus, der in die Fossa olecrani des Humerus ragt, unmöglich gemacht (SALOMON, 2008a).

EVANS und DE LAHUNTA (2013a) heben hervor, dass die enge Verzahnung von Trochlea des Humerus und Incisura trochlearis der Ulna das Ellbogengelenk zu einem der stabilsten Scharniergelenke des Körpers macht.

Die Gelenkkapsel ist sehr geräumig und umfasst auch das proximale Radioulnargelenk. Sie buchtet sich nach kranial und kaudal aus und reicht kaudal bis an den proximalen Rand der Fossa olecrani (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Der Bandapparat des Ellbogengelenks besteht aus folgenden Bändern. **Die Lig. collaterale cubiti laterale** und **mediale** entspringen jeweils lateral bzw. medial in der Bandgrube (lateral auch am Bandhöcker) des Humerus und inserieren mit einem kranialen Schenkel am seitengleichen Bandhöcker des Radius sowie mit einem kaudalen Schenkel an der Ulna (NICKEL et al., 2004b), wobei dieser Abschnitt des medialen Kollateralbandes zum Teil auch am Radius ansetzt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; SALOMON, 2008a). Nach BAUM und ZIETZSCHMANN (1936) liegt im Lig. collaterale laterale oftmals ein Sesambein. Das elastische **Lig. olecrani** hat seinen Ursprung am Epicondylus medialis humeri in der Fossa olecrani und seinen Ansatz am Olekranon (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a) bzw. am Proc. anconaeus (LIEBICH et al., 2012). Es ist mit der Gelenkkapsel eng verbunden (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b). Ein schmales **Lig. obliquum** entspringt proximal am Foramen supratrochleare, zieht über die Beugeseite der Gelenkkapsel und teilt sich in zwei Schenkel, von denen der kürzere mit dem medialen

Kollateralband verschmilzt und der andere medial am Radius ansetzt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; SALOMON, 2008a).

Punktion von kraniolateral: Das Ellbogengelenk ist im Winkel von ca. 135° gebeugt. Die Kanüle wird distal des tastbaren Capitulum humeri am lateralen Rand des M. extensor carpi radialis eingestochen und mediokaudal vorgeschoben (VOLLMERHAUS, 2007).

Punktion von kaudolateral: Die Punktionsstelle liegt beim im 90°-Winkel gebeugten Ellbogengelenk zwischen Epicondylus lateralis und Olecranon. Die Stichrichtung ist kraniomedial (LIEBICH et al., 2012; VOLLMERHAUS, 2007).

2.3.1.2.4 Radioulnargelenke, Art. radioulnaris proximalis und distalis

Die Gelenkflächen der Art. radioulnaris proximalis sind die Circumferentia articularis radii und die Incisura radialis ulnae, die der Art. radioulnaris distalis die Circumferentia articularis ulnae und die Incisura ulnaris radii. Beide Gelenke funktionieren als Drehgelenke, die eine geringfügige Drehung des Radius um die Ulna ermöglichen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Laut LIEBICH et al. (2012) kann eine Katze die Gliedmaße aktiv bis zu 100° auswärts drehen, beim Hund ist nur eine passive Supination bis 50° möglich.

Die beiden Gelenke besitzen keine eigenen Gelenkkapseln; das proximale Radioulnargelenk geht in die Gelenkkapsel des Ellbogengelenks mit ein (siehe Kapitel 2.3.1.2.3), das distale in die des Unterarm-Vorderfußwurzelgelenks (siehe Kapitel 2.3.1.2.5) (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Der Bandapparat besteht aus der **Membrana interossea antebrachii** im Spatium interosseum, aus dem **Lig. interosseum antebrachii**, das sich im proximalen Bereich lateral der Membrana interossea antebrachii zwischen Radius und Ulna aufspannt, dem **Lig. anulare radii**, das zwischen den Procc. coronoidei ulnae verläuft, dabei die Seitenbänder des Ellbogengelenks unterläuft und den Radiuskopf auf der Beugeseite des Gelenks ringförmig umspannt, sowie dem **Lig. radioulnare**, welches die distalen Enden von Radius und Ulna miteinander verbindet (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

EVANS und DE LAHUNTA (2013a) beschreiben das Lig. interosseum antebrachii als ein ca. 2 cm langes, 0,5 cm breites und ca. 0,2 cm dickes knorpeliges Ligament, das sich von unterhalb des proximalen Radioulnargelenks bis knapp zur Mitte des

Radiusschafts zwischen den angerauten Flächen von Radius und Ulna aufspannt. Proximal und distal ragt die Membrana interossea antebrachii über das Band hinaus. Als klinischen Aspekt hebt BUDRAS (2012) hervor, dass die normale Beweglichkeit der Radioulnargelenke von 10° in der Pronation und 20-30° in der Supination beim im rechten Winkel gehaltenen Ellbogen- und Karpalgelenk im Falle einer Ruptur der Seitenbänder deutlich erhöht ist. So kann der Unterarm nach Ruptur des Lig. collaterale laterale um mehr als 45° einwärts und nach Ruptur des Lig. collaterale mediale sogar um über 90° auswärts gedreht werden.

2.3.1.2.5 Vorderfußwurzelgelenk (Karpalgelenk), Art. carpi

Das Vorderfußwurzelgelenk ist ein aus drei Gelenkspalten bestehendes, zusammengesetztes Gelenk. Gebildet wird es von Radius und Ulna, den Knochen der Vorderfußwurzel und den Mittelfußknochen. Entsprechend unterscheidet man das proximale Unterarm-Vorderfußwurzelgelenk, **Art. antebrachioacarpea**, das mittlere Vorderfußwurzel-Mittelgelenk, **Art. mediocarpea**, und die distalen Vorderfußwurzel-Mittelfußgelenke, **Artt. carpometacarpeae** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Zusätzlich gibt es Gelenke zwischen den Knochen der Vorderfußwurzel, die Vorderfußwurzel-Zwischengelenke, **Artt. intercarpeae**, sowie ein Gelenk des karpalen Sesambeins, Os carpi accessorium, **Art. ossis carpi accessorii** (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Das Unterarm-Vorderfußwurzelgelenk, **Art. antebrachioacarpea**, ist ein zusammengesetztes Walzengelenk. In der **Art. radiocarpea** artikuliert der Radius mit den Ossa carpi intermedioradiale und ulnare, in der **Art. ulnocarpea** die Ulna mit den Ossa carpi ulnare und accessorium (NICKEL et al., 2004b).

Das Unterarm-Vorderfußwurzelgelenk ist das beweglichste der Teilgelenke (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b). Durch die pfannenartige Aushöhlung der Facies articularis carpea des Radius besitzt es eine sehr große Bewegungsfreiheit, die laut SALOMON (2008a) bei 90° in der Sagittalebene liegt. Nickel NICKEL et al. (2004b) spricht von einem „nahezu freien Gelenk“, SALOMON (2008a), LIEBICH et al. (2012) von einem Ellipsoidgelenk.

Die Gelenkkapsel buchtet sich nach dorsal weit aus und schließt nach proximal auch die Art. radioulnaris distalis mit ein (siehe Kapitel 2.3.1.2.4) (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Eine Punktion des Gelenks erfolgt an der im 90°-Winkel gebeugten Gliedmaße von dorsolateral in die proximale Gelenkaussackung zwischen die Endsehnen des

M. extensor digitorum communis und des M. extensor carpi radialis in Höhe des tastbaren Gelenkspalts (LIEBICH et al., 2012).

Das Vorderfußwurzel-Mittelgelenk, **Art. mediocarpea**, ist ein als Wechselgelenk funktionierendes Walzengelenk, das weit weniger beweglich ist als das proximale Gelenk (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b). Hier artikulieren die Ossa carpi intermedioradiale und ulnare mit den Ossa carpalia der distalen Reihe. Dabei artikuliert das Os carpi intermedioradiale mit allen Ossa carpalia, das Os carpi ulnare nur mit dem Os carpale quartum und zusätzlich mit dem Os metacarpale quintum (NICKEL et al., 2004b).

Die Gelenkkapsel ist aufgrund der geringen Beweglichkeit eng (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b). Die Gelenkhöhle ist mit der der distalen Gelenke, Artt. carpometacarpeae, durch einen engen Spalt zwischen dem dritten und vierten distalen Karpalknochen verbunden, so dass eine Injektion in das eine Gelenk stets auch das andere erreicht (SALOMON, 2008a).

Für eine Punktion des Gelenks wird die Kanüle 2-4 mm distal der Gelenkkante des Os carpi intermedioradiale lateral der Sehne des M. extensor carpi radialis und medial der V. cephalica eingestochen und mediopalmar vorgeschoben (VOLLMERHAUS, 2007).

Die Vorderfußwurzel-Mittelfußgelenke, **Artt. carpometacarpeae**, sind straffe Gelenke mit engen Gelenkkapseln, die auch die proximalen Intermetakarpalgelenke einschließen. Die beteiligten Knochen, Ossa carpalia und Ossa metacarpalia, sind durch zahlreiche kurze Bänder fast unbeweglich miteinander verbunden (NICKEL et al., 2004b).

In der **Art. ossis carpi accessorii** ist das Os carpi accessorium mit dem Os carpi ulnare und der Ulna gelenkig verbunden (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Die Vorderfußwurzel-Zwischengelenke, **Artt. intercarpeae**, sind straffe Gelenke zwischen den Karpalknochen einer Reihe mit sehr geringer Bewegungsmöglichkeit (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b).

Der **Bandapparat** des Karpus besteht aus fünf Gruppen von Bändern (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a):

1. Seitenbänder
2. Unterarm-Fußwurzelbänder
3. Vorderfußwurzel- oder Interkarpalbänder
4. Bänder des Os carpi accessorium
5. Vorderfußwurzel-Mittelfußbänder

Da eine genaue Kenntnis über die Mehrzahl der einzelnen Bänder nicht von praktischer Bedeutung ist, wird hier nur auf die wichtigsten Strukturen eingegangen. Detaillierte Beschreibungen finden sich bei NICKEL et al. (2004b) und EVANS und DE LAHUNTA (2013a).

Die Seitenbänder, **Ligg. collateralia**, überspannen nur den proximalen Gelenkspalt, was zur Seitwärtsbeweglichkeit des Karpalgelenks beiträgt. Das **Lig. collaterale carpi laterale** zieht vom Proc. styloideus ulnae zum Os carpi ulnare, das **Lig. collaterale carpi mediale** zieht vom Proc. styloideus radii zum Os carpi intermedioradiale (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Das mediale Seitenband ist aufgrund einer höheren mechanischen Belastung dieser Gliedmaßeenseite kräftiger ausgebildet als das laterale (NICKEL et al., 2004b). EVANS und DE LAHUNTA (2013a) beschreiben für dieses Band zwei Teile, einen geraden und einen schrägen Anteil. Danach entspringt der gerade Anteil oberhalb des Proc. styloideus radii und inseriert medial am Os carpi intermedioradiale, während der schräge Anteil zwischen Proc. styloideus und mediopalmarer Seite des Os carpi intermedioradiale verläuft. Zwischen diesen beiden Anteilen liegt die Sehne des M. abductor pollicis longus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a).

Von den Unterarm-Fußwurzelbändern, **Ligg. antebrachioarpea**, sind besonders die palmaren (**Lig. radiocarpeum palmare**, **Lig. ulnocarpeum palmare** und **Lig. carpi radiatum**) von Bedeutung, da sie eine Hyperextension des Karpalgelenks verhindern. Sie sind in eine plattenförmige Verdickung der Gelenkkapselfibrosa eingebettet und nur schwer zu isolieren (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Durch die Interkarpalbänder, **Ligg. intercarpea**, werden benachbarte Karpalknochen miteinander verbunden, was zur Stabilität des Gelenks beiträgt (SALOMON, 2008a). Sie sind häufig mit anderen Bändern oder der Gelenkkapsel verbunden und daher ebenfalls nicht gut darstellbar (NICKEL et al., 2004b).

Das Os carpi accessorium, das als Ansatzstelle für die Karpalgelenksbeuger fungiert, ist durch drei, zum Teil zweischenklige Bänder fest mit seinen Nachbarknochen (Ulna, Karpal- und Metakarpalknochen) verbunden (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Die Vorderfußwurzel-Mittelfußbänder, **Ligg. carpometacarpea**, verlaufen dorsal und palmar von den Ossa carpalia zu den Ossa metacarpalia und verbinden diese straff miteinander. Palmar ist diese Bandmasse verbreitert und schließt nach proximal auch das Os carpi intermedioradiale ein (GILLE, 2008; NICKEL et al., 2004b).

Zusätzlich zu den Gelenkbändern befindet sich auf der Dorsalseite des Karpalgelenks eine bindegewebige Verstärkung der Gelenkkapsel durch die Fascia

dorsalis manus, das **Retinaculum extensorum**. Palmar ist das **Retinaculum flexorum** vorhanden, ebenfalls eine Verstärkung der tiefen Faszie. Das Retinaculum flexorum ist als Sehnenhalteband Bestandteil des **Canalis carpi** für Sehnen, Nerven und Gefäße (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b). Durch Abspaltung eines tiefen Retinaculum flexorum vom oberflächlichen werden zwei abgegrenzte Durchlässe für die oberflächliche und die tiefe Beugesehne geschaffen (BUDRAS, 2012).

Die Bewegungsmöglichkeiten des Karpalgelenks bestehen hauptsächlich aus Beugung und Streckung. Bei maximal gebeugter Gliedmaße berührt der Mittelfuß fast den Unterarm, bei maximaler Streckung bilden Fuß und Unterarm eine Gerade. Bei Belastung steht der Fuß in leichter Hyperextension (NICKEL et al., 2004b).

Daneben sind in geringerem Ausmaß Dreh- und Seitwärtsbewegungen möglich, für die die fehlenden langen Seitenbänder, die Elastizität einiger kurzer Bänder und die spezielle Gestaltung der Gelenkflächen ursächlich sind (NICKEL et al., 2004b).

Sind durch ein Trauma die palmaren Bänder rupturiert, zeigt sich das Bild des sog. Hyperextensionskomplexes, der chirurgisch häufig durch eine Gelenkversteifung behandelt wird (BUDRAS, 2012).

2.3.1.2.6 Verbindungen der Metakarpalknochen, Artt. intermetacarpeae

Die Mittelfußknochen sind proximal durch **Ligg. metacarpea dorsalia, palmaria** und **interossea** relativ beweglich miteinander verbunden. Proximal sind schmale Gelenke, **Artt. intermetacarpeae**, ausgebildet, die von der Gelenkkapsel der Artt. carpometacarpeae mit eingeschlossen werden (siehe „Artt. carpometacarpeae“) (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

2.3.1.2.7 Zehengelenke

Die Zehen II bis V der Vordergliedmaße bestehen aus drei Gliedern; entsprechend sind an diesen Zehen je 3 Gelenke ausgebildet: von proximal nach distal sind dies das erste oder Zehengrundgelenk, **Art. metacarpophalangea**, das zweite oder Zehenmittelgelenk, **Art. interphalangea proximalis manus**, und das dritte oder Zehenendgelenk, **Art. interphalangea distalis manus**. Der ersten Zehe fehlen das Mittelglied und damit auch das Zehenmittelgelenk (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Zehengrundgelenke, Artt. metacarpophalangeae

In diesem Gelenk artikuliert jeweils die durch einen Sagittalkamm geteilte Trochlea des Metakarpalknochens mit der Fovea articularis der Phalanx proximalis und den Gelenkflächen der proximalen Sesambeine (an der ersten Zehe: Gelenkfläche des einzelnen Sesambeins) (NICKEL et al., 2004b). Es handelt sich um ein als Wechselgelenk funktionierendes Walzen- oder Scharniergelenk (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Laut LIEBICH et al. (2012) wirkt das Zehengrundgelenk der 1. Zehe als Schraubengelenk. Die weite Gelenkkapsel buchtet sich nach dorsal und palmar aus (**Recessus dorsales et palmares**) (NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a), im palmaren Recessus sind die Sesambeine mit eingeschlossen (LIEBICH et al., 2012).

Als Gelenkbänder finden sich neben kräftigen Seitenbändern, **Ligg. collateralia mediale** und **laterale**, die zwischen dem jeweiligen Metakarpalknochen und der Phalanx proximalis verlaufen (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a), proximale, mittlere und distale Sesambeinbänder sowie Verbindungen zu den dorsalen Sesambeinen (NICKEL et al., 2004b).

Die Funktion von proximalen Sesambeinbändern wird an der 2. bis 5. Zehe von den Mm. interossei übernommen, an der 1. Zehe von deren speziellen Muskeln (NICKEL et al., 2004b).

Zu den mittleren Sesambeinbändern zählen das **Lig. palmare**, das an der 2. bis 5. Zehe die beiden Sesambeine miteinander verbindet, und die seitlichen Sesambeinbänder, **Ligg. sesamoidea collateralia**, die an jeder Zehe seitlich von jedem Sesambein zum zugehörigen Metakarpalknochen und zur Phalanx proximalis ziehen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Distale Sesambeinbänder sind die gekreuzten Sesambeinbänder, **Ligg. sesamoidea cruciata**, sowie das gerade Sesambeinband, **Lig. sesamoideum rectum**, (NICKEL et al., 2004b) bzw. das kurze Sesambeinband, **Lig. sesamoideum breve**, (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012). Gekreuzte Sesambeinbänder gibt es nur an der 2. bis 5. Zehe. Dort verbinden sie kreuzweise die Distalenden der Sesambeine mit dem Bandhöcker an der Basis der jeweils gegenüberliegenden Phalanx proximalis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b). Das gerade Sesambeinband verläuft laut NICKEL et al. (2004b) als einzelnes breites Band über den gekreuzten Bändern hinweg vom Distalende der Sesambeine gerade distal zur zugehörigen Phalanx proximalis. Der Verlauf des kurzen Bandes nach EVANS und DE LAHUNTA (2013a) und LIEBICH et

al. (2012) entspricht dem des Lig. sesamoideum rectum, jedoch beschreiben die Autoren, dass das Band unter den gekreuzten Bändern hindurch zieht. Unterstützungssehnen der Mm. interossei wirken laut NICKEL et al. (2004b) zusätzlich als distale Sesambeinbänder.

Die einfach vorliegenden dorsalen Sesambeine werden einerseits durch Abspaltungen der Strecksehnenäste der Mm. interossei – nach EVANS und DE LAHUNTA (2013a) auch des M. extensor digitorum communis - nach proximal fixiert und außerdem durch je ein distales Band mit der Dorsalfläche der Phalanx proximalis verbunden (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b).

Zehenmittelgelenke, Artt. interphalangeae proximales manus

Im Zehenmittelgelenk artikuliert die Gelenkwalze der Phalanx proximalis mit der Gelenkgrube der Phalanx media in einem Sattelgelenk, das hauptsächlich Beuge- und Streckbewegungen ermöglicht, aber in geringem Umfang auch Dreh- und Seitwärtsbewegungen zulässt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Die Gelenkkapsel verbindet sich eng mit den Streck- und Beugesehnen und enthält in ihrer Dorsalwand einen knorpeligen Gleitdruckkörper (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Als einzige Bänder ziehen Seitenbänder, **Ligg. collateralia mediale** und **laterale** von der Bandgrube der Phalanx proximalis zum Bandhöcker der Phalanx media (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Die Seitenbänder folgen in ihrem Verlauf nicht der Achse der Zehe, sondern ziehen im Stand senkrecht nach unten (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; SALOMON, 2008a).

Zehenendgelenke (Krallengelenke), Artt. interphalangeae distales manus

Beim Zehenendgelenk handelt es sich um ein Sattelgelenk mit hauptsächlich Beuge- und Streckbewegung und geringer Seitwärtsbewegung. Die Gelenkwalze der Phalanx media (2. bis 5. Zehe) bzw. Phalanx proximalis (1. Zehe) artikuliert mit der Facies articularis des Krallenbeins (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

In die Gelenkkapsel, die dorsal und palmar nach proximal gerichtete Ausbuchtungen (**Recessus dorsales** und **palmares**) besitzt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a), ist ein faserknorpeliger Gleitdruckkörper (Sesamknorpel) eingelagert, der mit Bändern,

Ligg. sesamoidea collateralia, eigentlich Verstärkungen der Gelenkkapsel, mit dem distalen Ende der Phalanx media verbunden ist (NICKEL et al., 2004b).

Der Bandapparat besteht aus Seitenbändern und schwachen Dorsalbändern (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a). Die Seitenbänder, **Ligg. collateralia mediale** und **laterale**, verbinden die Bandgrube der Phalanx media mit den seitlichen Teilen der Krallenleiste, Crista unguicularis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b), die beiden elastischen Dorsalbänder, **Ligg. dorsalia**, ziehen, konvergierend, vom Proximalende der Phalanx media an die Dorsalfläche der Krallenleiste, wo sie dicht nebeneinander inserieren (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; NICKEL et al., 2004b; SALOMON, 2008a).

Durch die Dorsalbänder wird das Krallengelenk passiv in einer Extensionsstellung gehalten, wodurch verhindert wird, dass die Krallen den Boden berühren. Zum Graben oder Kratzen muss der Hund die Krallen aktiv ausfahren. Dies geschieht durch Kontraktion des M. flexor digitorum profundus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013a; SALOMON, 2008a).

Verbindungen der Zehen miteinander

An den Stützzehen befinden sich im Bereich der Zehengrundgelenke Ringbänder, **Ligg. anularia palmaria seu Ligg. metacarpea transversa superficialia**, die seitlich an den Sesambeinen einer Zehe anheften und die Beugesehnen ringförmig umfassen, so dass diese in Position gehalten werden. An diesen setzen die **Ligg. metacarpea transversa profunda** an, querverlaufende tiefe Spannbänder, die die einzelnen Zehen miteinander verbinden. Von diesen Spannbändern ziehen Faserzüge in die Sohlenballen hinein; sie bilden die Aufhängebänder der Sohlenballen. Ein oberflächliches Spannband, **Lig. metacarpeum transversum superficiale**, verläuft quer zwischen den Mittelfußknochen der 2. und der 5. Zehe (LIEBICH et al., 2012; NICKEL et al., 2004b).

2.3.2 Muskelsystem

Die Muskeln der Schultergliedmaße lassen sich in zwei Gruppen einteilen, die Schultergürtelmuskulatur, auch extrinsische Muskulatur (SALOMON, 2008a), und die Eigenmuskulatur der Gliedmaße (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die Schultergürtelmuskulatur stellt die Verbindung zwischen Stamm und Gliedmaße dar. Sie ergänzt den reduzierten knöchernen Schultergürtel in Form einer

synsarkotischen Aufhängung des Rumpfs zwischen den beiden vorderen Gliedmaßen. Durch diese Aufhängung werden Stöße bei Vorwärtsbewegungen abgefedert; im Stand kann der Stamm in seiner Position und Lage verändert werden. Des Weiteren sorgen die Muskeln des Schultergürtels für die Bewegung der gesamten Gliedmaße (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die Eigenmuskeln der Vordergliedmaße verlaufen zwischen den einzelnen Knochen des Gliedmaßenskeletts und sorgen somit für die Bewegung um die Gelenke innerhalb der Gliedmaße selbst (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

2.3.2.1 Faszien

Faszien sind straffe Bindegewebshäute aus vorwiegend kollagenen Fasern mit einem unterschiedlich hohen Anteil an elastischen Fasern. Mit steigendem Anteil elastischer Fasern verändert sich das Aussehen von silbrig glänzend zu gelblich (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Als Hilfseinrichtungen der Muskeln haben Faszien verschiedene Funktionen: sie umhüllen einzelne oder mehrere Muskeln, formen sie so zu Muskelgruppen; sie unterstützen die Muskelarbeit, indem sie dem Muskel bzw. der Muskelgruppe Halt und Führung bieten und indem sie durch die Verbindung von Muskeln mit der Haut letztere in die Bewegung mit einbeziehen (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Weiterhin dienen Faszien Muskeln als Ansatz oder Ursprung oder sie bilden, in verstärkter Ausprägung, Haltebänder für Sehnen, **Retinacula tendinum** (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die dünne **Fascia superficialis** der Schultergliedmaße geht nach kranial in die oberflächliche Halsfaszie über, nach kaudal wird sie zur Fascia trunci superficialis (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Distal des Ellbogengelenks umschließt sie den Unterarm völlig und verschmilzt größtenteils mit der Fascia profunda (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Anders als an anderen Stellen des Körpers sind in sie keine Hautmuskeln eingelagert. Eine detaillierte Beschreibung des Verlaufs der Fascia superficialis findet sich bei (HERMANSON, 2013).

Analog zur Fascia superficialis geht die **Fascia profunda** der Schultergliedmaße zum Hals hin in die Fascia cervicalis profunda über, zum Rumpf hin wird sie zum oberflächlichen Blatt der Fascia trunci profunda (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); HERMANSON (2013) spricht an dieser Stelle von der Fascia thoracolumbalis.

Die Fascia profunda hüllt die Gliedmaße wie ein Schlauch ein. Dabei teilt sie sich an mehreren Stellen in zwei oder mehr Blätter auf, von denen einzelne zwischen den Muskeln hindurch (**Septa intermuscularia**) an die Knochen ziehen (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

SEIFERLE und FREWEIN (2004) teilen sie in die folgenden sechs Abschnitte ein, LIEBICH et al. (2012) nennt nur fünf Abschnitte (ohne Fascia digiti), HERMANSON (2013) fasst außerdem die Fascia dorsalis manus und die Fascia palmaris zur Fascia manus zusammen:

- **Fascia axillaris:** Sie überzieht die medialen Schultermuskeln (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), die Unterfläche des M. latissimus dorsi (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und die Lateralseite des M. serratus ventralis (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).
- **Fascia brachii:** Sie bildet medial am Oberarm die Fortsetzung der Fascia axillaris; auf der Lateralseite geht sie direkt in die Fascia cervicalis bzw. Fascia trunci profunda über (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sie überzieht medial den M. triceps brachii und M. tensor fasciae antebrachii, verbindet sich teilweise mit dem Epimysium der Brustmuskeln (SEIFERLE und FREWEIN, 2004), zieht über das Ellbogengelenk hinweg und geht in die tiefe Unterarmfaszie, Fascia antebrachii, über (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Auf der Lateralseite überzieht sie die Schultermuskulatur und heftet sich an der Spina scapulae (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) sowie an der Crista humeri (LIEBICH et al., 2012) bzw. an der Crista tuberculi majoris (HERMANSON, 2013) an. LIEBICH et al. (2012) beschreiben, dass Septen zwischen die Muskelbäuche von M. deltoideus, M. brachialis, M. biceps brachii und M. triceps brachii ziehen.
- **Fascia antebrachii:** Eine starke Faszie, die oft aus zwei oder mehr Blättern besteht. Sie umhüllt den ganzen Unterarm wie ein Strumpf, ist mit den Streckmuskeln sehr eng, mit den Beugern nur lose verbunden und gibt Septa intermuscularia ab, die miteinander oder mit dem Periost, besonders der freien Knochenbereiche, verschmelzen und so die Muskeln und Muskelgruppen in ihrer Lage fixieren und ihnen eine Bewegungsrichtung vorgeben (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Da auch Gefäße in Fasziencheiden zu liegen kommen, wirken diese zusätzlich unterstützend bei der Rückbeförderung des venösen Blutes aus der Gliedmaße (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Laut BUDRAS (2012) werden die Zehen- und Karpalgelenksbeuger (im Gegensatz zu den -streckern) jeweils in Form einer Muskelloge vollständig umschlossen. Nach starker Belastung oder Trauma verhindert die Faszienhülle ein Ausdehnen der

Muskulatur, wodurch es durch die Druckerhöhung im Gewebe zum sog. Kompartmentsyndrom kommen kann, welches mit Ischämie und nachfolgend Schmerzen und ggf. Atrophie verbunden ist (BUDRAS, 2012).

- **Fascia dorsalis manus:** umhüllt auf der Dorsalseite von Mittelfuß und Zehen alle Muskeln und Sehnen, bildet dorsal am Karpus, durch Faserzüge verstärkt, das Retinaculum extensorum, ein Halteband für die Sehnen der Streckmuskulatur (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)
- **Fascia palmaris:** umhüllt alle Muskeln und Sehnen auf der Palmarseite des Fußes, bildet über den Sehnen der Beugemuskeln das Retinaculum flexorum (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)
- **Fascia digiti:** bildet palmar an den Zehengrundgelenken ringbandartige Verstärkungen, die mit den Sesambeinen verbunden sind (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.2 Muskeln des Schultergürtels

Die Muskeln des Schultergürtels verlaufen radiär von Hals, Rücken und Brust zur Gliedmaße, wo sie an der Scapula und am Humerus ansetzen. Sie werden daher auch als Stamm-Gliedmaßenmuskeln bezeichnet (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im Bereich des Stamms liegen sie den Stammesmuskeln oberflächlich auf (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sie werden in eine oberflächliche und eine tiefe Schicht eingeteilt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

2.3.2.2.1 Oberflächliche Schicht der Schultergürtelmuskulatur

Zu den oberflächlichen Schultergürtelmuskeln zählen der **M. trapezius**, der **M. sternocleidomastoideus** (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. nur dessen **M. brachiocephalicus** (SALOMON, 2008a), der **M. omotransversarius**, der **M. latissimus dorsi** und die **Mm. pectorales superficiales** (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Ihre Hauptaufgabe liegt in der Befestigung der Vordergliedmaßen am Rumpf, jedoch beteiligen sie sich auch an deren Bewegung. Die Form dieser Muskeln ist i.d.R. breit und flächenhaft, der Faserverlauf längsgerichtet (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. trapezius

Der M. trapezius, Trapezmuskel, ist ein breiter, flacher, dünner Muskel, der seitlich an Nacken und Widerrist direkt unter der Haut bzw. den Hautmuskeln liegt. Sein Ursprung befindet sich beim Hund im Bereich des 3. Hals- bis 10. Brustwirbels am medianen Sehnenstreifen des Nackens und am Lig. supraspinale (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Durch einen mehr oder weniger ausgeprägten Sehnenstreifen, der in der Verlängerung der Spina scapulae nach dorsal zieht, wird der Muskel in zwei Portionen geteilt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die **Pars cervicalis** besitzt einen kaudoventralen Faserverlauf. Sie entspringt in der Halsgegend und setzt am freien Rand der Spina scapulae sowie am o.g. Sehnenstreifen an. Zusätzlich verschmilzt sie im Bereich des Akromions mit dem M. omotransversarius (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die kräftigere **Pars thoracica** mit kranioventralem Faserverlauf entspringt fleischig am Lig. supraspinale und den Enden der Dornfortsätze der Brustwirbel 3 bis 8 oder 9/10 und verbindet sich außerdem in Form einer Aponeurose mit der Fascia thoracolumbalis. Ihre Ansatzstelle ist das proximale Drittel der Spina scapulae sowie der o.g. trennende Sehnenstreifen (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Fixierung der Schulter (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Vorführen der Gliedmaße (bei Kontraktion einer der beiden Portionen, (SALOMON, 2008a)) und Anhebung (bei gleichzeitiger Kontraktion beider Portionen, (SALOMON, 2008a)) (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); bei Seitwärtsbewegungen Unterstützung der Abduktion (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: Dorsalast des N. accessorius (XI.) (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. sternocleidomastoideus

Der M. sternocleidomastoideus besteht beim Hund wie bei allen Haussäugetieren aus zwei Muskeln, dem **M. sternocephalicus** und dem **M. brachiocephalicus** (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der **M. sternocephalicus**, Brustbein-Kopfmuskel, zieht vom Manubrium sterni an den Schädel, wobei er sich etwa in der Halsmitte aufspaltet und als **M. sternomastoideus** (gemäß HERMANSON (2013) **Pars mastoidea**) am Proc. mastoideus des Schläfenbeins, als **M. sternooccipitalis** (gemäß HERMANSON (2013) **Pars occipitalis**) an der Crista nuchae des Os occipitale inseriert

(HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). In seinem Verlauf liegt er oberflächlich unter der Haut bzw. dem Halshautmuskel und umrahmt zusammen mit dem *M. brachiocephalicus* die Drosselrinne (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), Sulcus jugularis, in der die Vena jugularis verläuft (SALOMON, 2008a).

Funktion: Er gehört funktionell zu den Kopf- und Halsbewegern (die Zugehörigkeit zur Schultergürtelmuskulatur ist nur vergleichend-anatomischer Natur) und ist entsprechend zuständig für das Feststellen und Abbeugen von Kopf und Hals (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: Ventralast des N. accessorius (XI.) (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Ventraläste der Halsnerven (HERMANSON, 2013)

Der **M. brachiocephalicus**, Arm-Kopfmuskel, ist ein dreiteiliger Muskel, der zwischen Kopf bzw. Hals und Humerus verläuft. Er entspringt beim Hund oberflächlich als **Pars cervicalis** des **M. cleidocephalicus** aponeurotisch über die ganze vordere Halshälfte hinweg am sehnigen Mittelstreifen des Nackens sowie, mehr in der Tiefe gelegen, als oft zweibäuchige **Pars mastoidea** des **M. cleidocephalicus** dorsal vom M. sternomastoideus am Proc. mastoideus des Schläfenbeins (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der M. cleidocervicalis endet auf der Vorderfläche des Schultergelenks im Klavikularstreifen, **Intersectio clavicularis**, dem sehnigen Rudiment der Klavikula, an dessen Medialseite beim Hund noch der knöcherne Überrest dieses Knochens zu finden ist (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Von dort aus zieht der **M. cleidobrachialis** an die Vorderseite des Humerus, wo er zwischen den Muskelbäuchen der Mm. biceps brachii und brachialis distal an der Crista humeri inseriert (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Nach SEIFERLE und FREWEIN (2004) geht der M. cleidomastoideus direkt in den M. cleidobrachialis über, HERMANSON (2013) hingegen schreibt, dass er wie der M. cleidocephalicus im Klavikularstreifen endet.

Funktion: Bei fixiertem Kopf und Hals: wichtigster Muskel zum Vorführen der Gliedmaße im Ganzen (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Bei fixierten Gliedmaßen: Nieder- oder Rückwärtsziehen von Kopf und Hals (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Fixieren von Kopf und Hals (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Bei einseitiger Anspannung Seitwärtsbewegung von Kopf und Hals zur

entsprechenden Seite (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: N. accessorius, Nn. cervicales, N. axillaris (LIEBICH et al., 2012); M. cleidocephalicus: N. accessorius (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. sein Dorsalast (SALOMON, 2008a); Ventraläste der Halsnerven (HERMANSON, 2013); M. cleidobrachialis: Ventraläste der Halsnerven VI und VII (HERMANSON, 2013), N. axillaris (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. omotransversarius

Der M. omotransversarius, Schulter-Halsmuskel, entspringt am Hinterrand des Atlasflügels, verläuft zunächst in der Tiefe unter dem M. cleidocervicalis, kommt vor der Schulter an die Oberfläche und inseriert zusammen mit der Pars cervicalis des M. trapezius am distalen Teil der Schulterblattgräte und am Acromion (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Vorführen der Gliedmaße (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Seitwärts- und Niederziehen des Halses (LIEBICH et al., 2012)

Innervation: N. accessorius (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012) bzw. dessen Dorsalast (SALOMON, 2008a); Ventraläste der Halsnerven (SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. latissimus dorsi

Der M. latissimus dorsi, Breiter Rückenmuskel, erstreckt sich als flacher, fast dreieckiger Muskel kaudal der Schultergliedmaße über die dorsale Hälfte der seitlichen Brustwand (HERMANSON, 2013). An seiner Flächenausdehnung gemessen, ist er einer der größten Muskeln des Körpers (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er entspringt zum einen aponeurotisch aus dem oberflächlichen Blatt der Fascia thoracolumbalis (und damit an den Spinalfortsätzen der Lenden- und der letzten 7 bis 8 Brustwirbel, (HERMANSON, 2013)) und zum anderen muskulös an der 11. oder 12. bis 13. Rippe (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein kranialer Rand zieht über den Kaudalrand des Schulterblatts hinweg und fixiert dieses am Thorax (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a). Sein Ansatz ist aponeurotisch zusammen mit der Endsehne des M. teres major an der Crista tuberculi minoris (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. an der Tuberositas teres major (HERMANSON, 2013) sowie durch Verschmelzung mit dem tiefen Brustmuskel medial in der Fascia brachii (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Auch strahlen Fasern des Bauchhautmuskels in

diese Endaponeurose ein (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Neben der sehnigen Verbindung ist der M. latissimus dorsi auch über Muskelfasern mit dem M. pectoralis profundus verbunden, so dass er über diesen an der Crista tuberculi majoris inseriert und somit an der Bildung des sog. muskulösen Achselbogens beteiligt ist (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Wichtigster Rückwärtszieher der Gliedmaße, Antagonist des M. brachiocephalicus (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Beugung des Schultergelenks (SALOMON, 2008a) bzw. Rückführung der Gliedmaße bei Beugung des Schultergelenks (HERMANSON, 2013); Unterbindung des Aufkrümmens des Rückens und Unterstützung der Vorwärtsbewegung des Rumpfes beim Zug schwerer Lasten (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Vorziehen des Rumpfes bei fixierten Gliedmaßen (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: N. thoracodorsalis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Nn. pectorales caudales (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a)

Mm. pectorales superficiales

Die Mm. pectorales superficiales, oberflächliche Brustmuskeln, bilden zusammen mit dem tiefen Brustmuskel eine starke Verbindung zwischen ventraler Brustwand und Schulter bzw. Oberarm. Außerdem formen sie den ventralen Teil der Achselhöhle (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die oberflächlichen Brustmuskeln bestehen aus zwei Muskeln (SALOMON (2008a) spricht vom M. pectoralis superficialis, der aus zwei Teilen besteht), dem kleineren **M. pectoralis descendens** und dem größeren **M. pectoralis transversus**. Während SEIFERLE und FREWEIN (2004) schreiben, dass die beiden Muskeln beim Hund weitgehend miteinander verschmolzen sind, spricht HERMANSON (2013) sogar von drei erkennbaren Anteilen, da laut ihm der M. pectoralis descendens aus zwei Teilen besteht. Sie entspringen gemeinsam paramedian am Manubrium sterni bis zum 3. Rippenknorpel und setzen zwischen den Mm. biceps brachii und brachialis zusammen mit dem M. cleidobrachialis an der Crista tuberculi majoris humeri bzw. an der Crista humeri (SALOMON, 2008a) an (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). In ihrem Verlauf ziehen sie lateral und distal über den M. biceps brachii hinweg (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Ventrale Verbindung der Gliedmaßen mit dem Rumpf (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Adduktion im Hangbein (HERMANSON,

2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Vor- oder Rückwärtszieher der Gliedmaße (je nach Stellung) (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Seitwärtsziehen des Rumpfes bei fixierter Gliedmaße (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: Nn. pectorales craniales (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Nn. pectorales caudales (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Zweige der Halsnerven VII und VIII (LANGWORTHY, 1924)

2.3.2.2.2 Tiefe Schicht der Schultergürtelmuskulatur

Die tiefe Schicht der Schultergürtelmuskulatur besteht aus den **Mm. pectoralis profundus, rhomboideus** und **serratus ventralis**, die allesamt kräftiger sind als die Muskeln der oberflächlichen Schicht. Der M. pectoralis profundus und der M. serratus ventralis sind maßgeblich an der Aufhängung des Rumpfes beteiligt. Alle drei Muskeln dienen zusätzlich der Bewegung der Vordergliedmaßen, aber auch der Bewegung von Rumpf und Hals (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. pectoralis profundus

Der M. pectoralis profundus, tiefer Brustmuskel, liegt als breiter Muskel ventral dem Thorax an (HERMANSON, 2013). HERMANSON (2013) bezeichnet ihn auch als **M. pectoralis ascendens**. Er wird in eine kräftige, tiefe Haupt- und eine oberflächliche Nebenportion unterteilt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Hauptportion hat ihren Ursprung an den Sternebrae des Brustbeins sowie in der Fascia trunci profunda, aus der sie zusammen mit der Nebenportion, die ihr hier aufliegt, in der Regio xiphoidea hervorgeht. Die Muskelfasern beider Anteile verlaufen kraniolateral in Richtung Humerus, wo die Hauptportion sich in mehrere Bündel aufteilt. Ein Teil inseriert am Tuberculum minus, der Rest umfasst in Form einer breiten Aponeurose den M. biceps brachii und inseriert am Tuberculum majus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Nebenportion endet zusammen mit dem M. latissimus dorsi und Fasern des Bauchhautmuskels in der medialen Oberarmfaszie (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Träger des Rumpfes (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004; SLIJPER, 1946), Rückführung der Gliedmaße im Hangbein (Synergist des *M. latissimus dorsi*) (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Streckung des Schultergelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Fixierung des Schultergelenks (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Vorführung des Rumpfs im Stützbein (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Adduktion der Gliedmaße SALOMON (2008a)

Innervation: Nn. pectorales craniales (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Nn. pectorales caudales (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Zweige von Halsnerv VIII und Brustnerv I (HERMANSON, 2013)

M. rhomboideus

Der *M. rhomboideus*, Rautenmuskel, ist ein fächerförmiger Muskel, der sich, unter dem *M. trapezius* gelegen, von der Mittellinie von Nacken und vorderem Thorax zum Dorsalrand des Schulterblatts erstreckt (HERMANSON, 2013). Er besteht aus einer Brustportion, ***M. rhomboideus thoracis***, einer Halsportion, ***M. rhomboideus cervicis***, sowie einer schmalen Kopfportion, ***M. rhomboideus capitis*** (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Nach HERMANSON (2013) lassen sich Hals- und Brustportion nicht voneinander trennen. Der *M. rhomboideus cervicis* entspringt am sehnigen Mittelstreifen des Nackens ab dem 2. oder 3. Halswirbel sowie an den Enden der Dornfortsätze der ersten drei Brustwirbel und setzt dorsal am Angulus caudalis sowie an der Medialfläche der Scapula an (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der Ursprung des *M. rhomboideus thoracis* liegt an den Dornfortsätzen des 4. bis 6./7. Brustwirbels; von dort zieht er, vom *M. latissimus dorsi* bedeckt, an den Knorpelsaum des Schulterblatts (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der *M. rhomboideus capitis* zieht als schmales Band von der Crista nuchae über den *M. splenius capitis* hinweg und verschmilzt in Höhe des 4. oder 5. Halswirbels – laut HERMANSON (2013) kranial des 4. Halswirbels - mit dem *M. rhomboideus cervicis* (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Feststellen der Schulter (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Anheben der Gliedmaße (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Vorführen der Schulterblattbasis (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Rückführung der Gliedmaße im Hangbein (Synergist des *M. latissimus dorsi*) (HERMANSON, 2013; SALOMON,

2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Vorführung der Gliedmaße (HERMANSON, 2013); Heben des Halses bei fixierter Schulter (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Beteiligung an den Nickbewegungen des Kopfes im Schritt durch Übertragung der Gliedmaßenbewegungen auf das Genick (SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: Dorsaläste von Hals- und Brustnerven (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a); Ventraläste der entsprechenden Hals- und Brustnerven (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. dorsalis scapulae (SALOMON, 2008a)

M. serratus ventralis

Der M. serratus ventralis, ventraler gezahnter Muskel, ist der stärkste der Schultergürtelmuskeln (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Seine Form ist fächerförmig. Er lässt sich in eine Brustportion, **M. serratus ventralis thoracis**, und eine Halsportion, **M. serratus ventralis cervicis**, einteilen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Erstere entspringt, deutlich gezackt, leicht ventral der Mitte der 7 bis 8 ersten Rippen und inseriert nach konvergierendem Verlauf am Schulterblatt, medial an seiner Basis sowie an der Facies serrata. Der M. serratus ventralis cervicis entspringt, weniger deutlich gezackt, an den Querfortsätzen der Halswirbel 3 bis 7 zwischen den Mm. longissimus cervicis und intertransversarius und inseriert ebenfalls an der Facies serrata (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Wichtigster Bestandteil der Aufhängekonstruktion des Rumpfes an den Vordergliedmaßen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Im Lauf: Abfedern der Last des schwingenden Rumpfes (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Im Stand: Heben des Halses durch Halsportionen (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Vorführen oder Heben des Rumpfes durch Brustportionen (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Rückführung des Rumpfes durch Brustportion (HERMANSON, 2013); bei einseitiger Anspannung einer Halsportion: im Stand Biegung des Halses, im Hangbein Rückführung der jeweiligen Gliedmaße (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); bei einseitiger Anspannung einer Brustportion im Hangbein: Vorführung der entsprechenden Gliedmaße (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Bei Atemnot Unterstützung der Atemmuskulatur bei der Inspiration bei abduzierten Gliedmaßen durch die Brustportion (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: M. serratus ventralis cervicis: Ventraläste der Halsnerven (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); M. serratus ventralis thoracis: N. thoracicus longus (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004);

2.3.2.3 Eigenmuskulatur der Gliedmaße

Die Eigenmuskeln der Vordergliedmaße werden von den verschiedenen Autoren auf unterschiedliche Weise eingeordnet. SEIFERLE und FREWEIN (2004) und LIEBICH et al. (2012) teilen die Muskeln funktionell in fünf Gruppen ein:

- Muskeln des Schultergelenks
- Muskeln des Ellbogengelenks
- Muskeln der Radioulnargelenke
- Muskeln des Vorderfußwurzelgelenks
- Muskeln der Vorderzehen

Die Einteilung von SALOMON (2008a) ist leicht abgewandelt. Bei ihm heißen die Gruppen:

- Muskeln, die primär das Schultergelenk bewegen
- Muskeln, die primär das Ellbogengelenk bewegen
- Muskeln der Radioulnargelenke
- Muskeln des Karpalgelenks und der Vorderzehengelenke
- Kurze Zehenmuskeln

HERMANSON (2013) ordnet die Muskeln entsprechend ihrer Lage an der Vordergliedmaße. So ergeben sich:

- Laterale und mediale Muskeln des Schulterblatts
- Kraniale und kaudale Muskeln des Oberarms
- Kraniolaterale und kaudale Muskeln des Unterarms
- Muskeln der Vorderpfote

Im Folgenden werden die Muskeln der Einteilung nach SEIFERLE und FREWEIN (2004) und LIEBICH et al. (2012) folgend beschrieben.

Die Hauptfunktion der Eigenmuskeln liegt in der Beugung und Streckung von Gliedmaßenabschnitten, jedoch haben einige Muskeln beim Hund auch ab- oder adduzierende oder rotierende Wirkung (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Einige Muskeln überspannen neben ihrem „Haupt“gelenk ein oder mehrere weitere Gelenke und beteiligen sich entsprechend auch an deren Bewegung (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Von proximal

nach distal geht die Muskelstruktur von kräftig-muskulös zu dünn-sehnig über (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). An distalen Abschnitten wie Unterarm oder Hand liegen die Knochen teilweise direkt unter der Haut (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

2.3.2.3.1 Muskeln des Schultergelenks

Die Muskeln des Schultergelenks lassen sich in laterale und mediale Schultermuskeln einteilen (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Allen Muskeln gemein sind der Ursprung an der Scapula und der Ansatz an der Lateral- oder Medialfläche des Humerus (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Zu den lateralen Schultermuskeln gehören der **M. supraspinatus**, der **M. infraspinatus**, der **M. deltoideus** und der **M. teres minor**. Die medialen Schultermuskeln sind der **M. subscapularis**, der **M. teres major** und der **M. coracobrachialis** (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

2.3.2.3.1.1 Laterale Schultermuskeln

M. supraspinatus

Der M. supraspinatus, oberer Grätenmuskel, ist ein kräftiger, fleischiger Muskel, den die Mm. trapezius und omotransversarius zum größten Teil bedecken. Sein Ursprung liegt in der Fossa supraspinata, die er komplett ausfüllt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), an der Spina scapulae und am Margo cranialis des Schulterblatts (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), den er in der ventralen Hälfte überragt. Er überquert die Streckseite des Schultergelenks und inseriert am freien Rand des Tuberculum majus humeri (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Feststellen des Schultergelenks (GOSLOW et al., 1981; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Streckung des Schultergelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: N. suprascapularis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. infraspinatus

Der M. infraspinatus, unterer Grätenmuskel, ist ein stark gefiederter Muskel. Er hat seinen Ursprung in der Fossa infraspinata, die er vollständig ausfüllt, der Spina scapulae, dem Kaudalrand des Schulterblatts, den er leicht überragt, sowie in der Ursprungsaponeurose des M. deltoideus, von dem er distal überlagert wird (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Seine Endsehne zieht lateral über das Schultergelenk und inseriert laut SEIFERLE und FREWEIN (2004) distal des Tuberculum majus, laut LIEBICH et al. (2012) und HERMANSON (2013) an der Facies musculi infraspinati, laut SALOMON (2008a) am Tuberculum majus selbst. Zwischen die Endsehne und dem Tuberculum majus ist regelmäßig ein Schleimbeutel eingelagert, die **Bursa subtendinea musculi infraspinati** (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Oft kommt ein zweiter, etwas weiter proximal gelegener Schleimbeutel vor (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: kontraktiles Spannband, damit Funktion des lateralen Seitenbands des Schultergelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); eingeschränkt Abduktion und Supination des Oberarms (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); bei gebeugtem Schultergelenk Beugung desselben (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), Streckung bei mehr gestrecktem Gelenk (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a).

Innervation: N. suprascapularis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Klinische Bedeutung: Der M. infraspinatus kann bei sehr aktiven Hunden durch Trauma (SALOMON, 2008a) oder Überlastung (BUDRAS, 2012) geschädigt werden, so dass es durch Minderdurchblutung und damit verbundenen Fibrosierung zu einer Kontraktur des Muskels kommt, wodurch die Beweglichkeit im Schultergelenk eingeschränkt wird (BUDRAS, 2012; SALOMON, 2008a).

M. deltoideus

Der M. deltoideus, Deltamuskel, ist ein flacher Muskel, der direkt unter der Haut liegt. Beim Hund besteht er aus einer deutlich getrennten **Pars acromialis** und **Pars scapularis**. Die Pars scapularis entspringt mit einer breiten Aponeurose, die medial mit dem M. infraspinatus verbunden ist, an der Spina scapulae, zieht kaudolateral über das Schultergelenk und verbindet sich von medial mit der Pars acromialis. Diese entspringt am Acromion, zieht ebenfalls kaudolateral über das Schultergelenk

und inseriert zusammen mit der Pars scapularis an der Tuberositas deltoidea (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Zwischen der Pars acromialis des M. deltoideus und der Endsehne des M. infraspinatus ist beim Hund gelegentlich ein Schleimbeutel, **Bursa subdeltoidea**, ausgebildet (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung des Schultergelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), Abduktion (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und Rotation der Gliedmaße (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: N. axillaris (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. teres minor

Der M. teres minor, kleiner runder Muskel, zieht vom distalen Drittel des Kaudalrands der Scapula (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) sowie v.a. vom Tuberculum infraglenoidale (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) über die Beugeseite des Gelenks zur Tuberositas teres minor des Humerus, an der er inseriert (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er wird von den Mm. deltoideus und infraspinatus vollständig verdeckt (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung des Schultergelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: N. axillaris (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.3.1.2 Mediale Schultermuskeln

M. teres major

Der M. teres major, großer runder Muskel, ist beim Hund im Querschnitt eher abgeplattet als rund. Er entspringt am Angulus caudalis und am proximalen Stück des Margo caudalis des Schulterblatts sowie des M. subscapularis, zieht über die Beugeseite des Schultergelenks medial am M. triceps brachii und M. coracobrachialis vorbei und inseriert sehnig an der Crista tuberculi minoris (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. der Tuberositas teres major (HERMANSON,

2013). Die Endsehne ist mit dem M. latissimus dorsi (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und mit der Fascia brachialis (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) verschmolzen. Unter der Ansatzsehne kann ein Schleimbeutel, **Bursa subtendinea m. teretis majoris**, ausgebildet sein (SALOMON, 2008a).

Funktion: Beugung des Schultergelenks, Unterstützung bei der Adduktion der Gliedmaße (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Rückführen der Gliedmaße (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a)

Innervation: N. axillaris (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. subscapularis

Der M. subscapularis, Unterschultermuskel, fungiert als kontraktiles Spannband und ist daher stark gefiedert und sehnig durchsetzt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dies entsteht durch eine Eigenaponeurose, die den Muskel überspannt und von der vier bis sechs Sehnenplatten in den Muskel einstrahlen (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der Muskel entspringt in der Fossa subscapularis, die er vollständig ausfüllt und distal das Schulterblatt sowohl kranial als auch kaudal überragt. Von dort zieht er sehnig medial über das Schultergelenk, verbindet sich mit der Gelenkkapsel (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und inseriert am Tuberculum minus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). BUDRAS (2012) nennt einen Schleimbeutel, **Bursa subtendinea m. subscapularis**, zwischen der Endsehne des Muskels und der Gelenkkapsel des Schultergelenks.

Funktion: Kontraktiler Spannband, damit Funktion des medialen Seitenbands des Schultergelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Streckung des Schultergelenks, bei Beugestellung aber auch Beugung desselben (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Vorwärtsführen des Humerus während der Beugung des Schultergelenks, Innenrotation des Humerus, um ein Auswärtsrotieren zu verhindern (HERMANSON, 2013)

Innervation: Nn. subscapulares (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. axillaris (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a) bzw. Seitenzweige davon (SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. coracobrachialis

Der M. coracobrachialis, Rabenschnabel-Armmuskel, entspringt mit einer langen, von einer Sehnenscheide, **Vagina synovialis m. coracobrachialis**, umgebenen Ursprungssehne am Proc. coracoideus des Schulterblatts, zieht medial über das Gelenk unter die Endsehne des M. teres major und inseriert zwischen Caput mediale des M. triceps brachii und M. brachialis fleischig an (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und distal (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) der Crista tuberculi minoris humeri (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). LIEBICH et al. (2012) beschreiben den Ansatzpunkt als kraniomedial am Humerus, proximal und distal der Tuberositas teres major. Auch sprechen die Autoren von einem Schleimbeutel, der die Ursprungssehne unterlagert, welchen SEIFERLE und FREWEIN (2004) und SALOMON (2008a) nur den Ungulaten zuordnen.

Funktion: Einwärtsführung und Supination des Oberarms (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Unterstützung bei der Beugung oder Streckung des Schultergelenks, Adduktion (SALOMON, 2008a); Streckung und Adduktion des Schultergelenks (HERMANSON, 2013)

Innervation: R. muscularis proximalis (SALOMON, 2008a) des N. musculocutaneus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.3.2 Muskeln des Ellbogengelenks

Die Muskeln des Ellbogengelenks sind überwiegend kräftige Muskeln, die am Humerus oder an der Scapula entspringen, den Oberarm vollständig umschließen und proximal an Elle und Speiche inserieren. Ihre Funktion liegt hauptsächlich in der Streckung und Beugung des Ellbogengelenks, im Stand allerdings auch der Fixation des Gelenks und damit der Stabilisierung der Gliedmaße (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

In diese Gruppe gehören der **M. brachialis**, der **M. biceps brachii**, der **M. triceps brachii**, der **M. anconaeus** und der **M. tensor fasciae antebrachii** (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. brachialis

Der M. brachialis, (Ober-) Armmuskel, ist ein rein fleischiger Muskel (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er entspringt beim Hund distal vom Humeruskopf an der Kaudalfläche des Humerus und windet sich, dem Verlauf der Crista tuberculi majoris

((LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)) bzw. des Sulcus m. brachialis ((HERMANSON, 2013)) folgend, über lateral nach kranial (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dabei wird er vom M. triceps brachii bedeckt (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im weiteren Verlauf zieht der Muskel über die Beugeseite des Gelenks und endet zweigeteilt. Nach SEIFERLE und FREWEIN (2004) und HERMANSON (2013) mündet der kleinere Teil fleischig in den Zweig der Endsehne des M. biceps brachii, der zur Tuberositas radii läuft, nach LIEBICH et al. (2012) und SALOMON (2008a) inseriert er selbst an der Tuberositas radii. Der größere Anteil endet, nachdem er die zwei Schenkel der Endsehne des M. biceps brachii passiert hat (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), sehnig am Proc. coronoideus medialis ulnae (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). HERMANSON (2013) nennt als Ansatzpunkt eine angeraute Stelle distal des Proc. coronoideus medialis ulnae (Tuberositas ulnae).

SALOMON (2008a) beschreibt einen Schleimbeutel, **Bursa subtendinea m. brachialis**, der zwischen Endsehne des Muskels und dem Radius eingelagert ist (BUDRAS, 2012).

Funktion: Beugung des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Aufgrund der langen Muskelfasern ist die Hubhöhe groß (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Innervation: N. musculocutaneus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. radialis (LIEBICH et al., 2012)

M. biceps brachii

Der M. biceps brachii, zweiköpfiger Oberarmmuskel, überspannt sowohl das Schulter- als auch das Ellbogengelenk, ist also ein zweigelenkiger Muskel (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein Ursprung liegt am Tuberculum supraglenoidale (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Von dort zieht seine lange starke Ursprungssehne über die Streckseite des Schultergelenks zum Humerus, wo sie im Bereich des Sulcus intertubercularis von einer Ausstülpung der Gelenkkapsel umgeben ist (Kapselsehnenscheide, Vagina synovialis intertubercularis, siehe Kapitel 2.3.1.2.2) (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Durch ein quer verlaufendes Band zwischen Tuberculum majus und minus wird sie in Position gehalten (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im weiteren Verlauf liegt der

fleischige Bauch dem Humerus erst medial, dann kranial auf, bevor er auf Höhe des Ellbogengelenks in seine Endsehne übergeht, sich aufspaltet und mit einem stärkeren Schenkel am Proc. coronoideus medialis ulnae ((LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)) bzw. distal davon ((HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a)), mit dem anderen schwächeren Schenkel an der Tuberositas radii ansetzt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Ein Schleimbeutel, **Bursa bicipitoradialis**, liegt zwischen der Ansatzsehne und dem Radius (BUDRAS, 2012; SALOMON, 2008a). Laut BUDRAS (2012) vereinigt er sich häufig mit der Bursa subtendinea m. brachialis. Ausgeprägte Sehneneinlagerungen und ein hoher Anteil an langsam ermüdenden Typ-I-Muskelfasern machen den M. biceps brachii zu einem Stabilisator des Schultergelenks und damit wichtigen Bestandteil des passiven Stehapparats der Gliedmaße (SALOMON, 2008a). Ein Sehnenzug, der den Muskel distal verlässt und zwischen M. extensor carpi radialis und M. pronator teres in die Unterarmfaszie einstrahlt, ist weiterer Bestandteil dieser Stützfunktion. Er stellt die Entsprechung des Lacertus fibrosus beim Pferd dar (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung des Ellbogengelenks, gleichzeitig Streckung des Schultergelenks (GOSLOW et al., 1981; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Wegen der kurzen Muskelfasern ist die Hubhöhe gering, die Hubkraft hingegen groß (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Stabilisation des Schultergelenks im Stand (GOSLOW et al., 1981; SALOMON, 2008a), bei Bewegung auch in der Stützphase (GOSLOW et al., 1981).

Innervation: N. musculocutaneus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Klinische Bedeutung: Die Ursprungssehne des M. biceps brachii ist anfällig für Verletzungen. Sie kann selbst rupturieren oder v.a. bei jungen Hunden zusammen mit dem Tuberculum supraglenoidale ausreißen. Diagnostiziert werden kann diese Ruptur, indem der Oberarm nach hinten geführt und versucht wird, das Ellbogengelenk bei maximal gebeugtem Schultergelenk zu strecken. Ist dies möglich, liegt eine Ruptur der Sehne vor (BUDRAS, 2012).

M. triceps brachii

Der M. triceps brachii, dreiköpfiger Oberarmmuskel, besitzt beim Hund vier Köpfe: **Caput longum**, **Caput laterale**, **Caput mediale** und **Caput accessorium**. Das Caput longum als größter der vier Köpfe überspannt sowohl das Schulter- als auch das Ellbogengelenk (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Es entspringt fleischig und

sehnig an den distalen zwei Dritteln des Margo caudalis des Schulterblatts (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und sehnig am Tuberculum infraglenoidale (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), zieht mit konvergierendem Faserverlauf zum Ellenbogen und setzt mit einer kurzen Endsehne, die von einem Schleimbeutel, **Bursa subtendinea m. tricipitis brachii**, unterlagert ist (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), am Olekranon an (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das Caput laterale entspringt sehnig an der Linea musculi tricipitis (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) zwischen der Tuberositas teres minor und der Tuberositas deltoidea (HERMANSON, 2013), außerdem an der Crista humeri (SALOMON, 2008a), bzw. an der Tuberositas deltoidea sowie der Fascia brachialis (LIEBICH et al., 2012), zieht über den M. brachialis hinweg (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und inseriert z.T. zusammen mit der Endsehne des Caput longum am Olekranon (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) sowie in der Fascia antebrachii (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das Caput mediale hat seinen Ursprung an der Crista tuberculi minoris zwischen M. teres major und M. coracobrachialis (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) oder distal davon (SALOMON, 2008a) und endet separat medial am Olekranon (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) sowie nach teilweiser Verschmelzung mit der Endsehne des Caput longum in der Fascia antebrachii (HERMANSON, 2013). Laut LIEBICH et al. (2012) und HERMANSON (2013) wird die Endsehne von einem Schleimbeutel unterlagert. Das Caput accessorium liegt, von den anderen drei Köpfen völlig verdeckt, auf der Kaudalfläche des Humerus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), wo es kaudal des Caput humeri entspringt (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), um dann zusammen mit den Endsehnen von Caput longum und Caput laterale sehnig am Olekranon zu inserieren (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Nach SALOMON (2008a) und HERMANSON (2013) laufen die Endsehnen aller vier Köpfe zu einer gemeinsamen Sehne zusammen, die am Olekranon ansetzt.

Der M. triceps brachii ist der größte Muskel der Vordergliedmaße (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er zeichnet sich deutlich im Winkel zwischen den Kaudalrändern von Schulterblatt und Oberarm unter der Haut ab. Sein Kaudalrand, **Margo tricipitalis**, der vom Ellbogenhöcker hoch zum Wrist reicht,

grenzt die Schulter- und Oberarmgegend sichtbar nach kaudal ab (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Streckung des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), Beugung des Schultergelenks (Caput longum), Fixierung des Ellbogengelenks und damit Stabilisierung der Gliedmaße im Stand (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Klinische Bedeutung: Ist das Caput longum aufgrund eines Traumas – Sturz, Sprung aus großer Höhe – rupturiert, kann das Tier das Ellbogengelenk nicht mehr strecken (BUDRAS, 2012).

M. anconaeus

Der M. anconaeus, Ellbogenhöckermuskel, ist ein kleiner, rein fleischiger Muskel. Sein Ursprung liegt an der distalen Hälfte des Humerus bis hin zu den Epicondylen (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. lateral, z. T. auch medial der Fossa olecrani (SALOMON, 2008a). Er endet lateral am Olekranon (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), wobei seine tiefen Fasern direkten Kontakt zur proximalen Aussackung der Gelenkkapsel haben (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der Muskel wird vom M. triceps brachii größtenteils verdeckt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der Muskel besteht aus Typ-I-Fasern und trägt damit zur Stabilisierung der Gliedmaße im Stand bei (ARMSTRONG et al., 1982; SALOMON, 2008a). Auch kommt ihm eine wichtige Funktion bei der Propriozeption über das Ellbogengelenk und deren Weiterleitung an das ZNS zu (BUXTON und PECK, 1990; SALOMON, 2008a).

Funktion: Streckung des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Unterstützung bei der Spannung der Unterarmfaszie (HERMANSON, 2013).

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. tensor fasciae antebrachii

Der M. tensor fasciae antebrachii, Spanner der Unterarmfaszie, ist ein flacher Muskel, der aus dem Epimysium der lateralen Fläche des M. latissimus dorsi entspringt, medial und kaudal dem distalen Teil des Caput longum aufliegt und

zusammen mit dem M. triceps brachii am Olekranon und eigenständig in der Unterarmfaszie inseriert (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). LIEBICH et al. (2012) nennt nur die Unterarmfaszie als Ansatzpunkt.

Funktion: Spannen der Unterarmfaszie, Streckung des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.3.3 Muskeln der Radioulnargelenke

Hunden ist es möglich, ihre Unterarme in begrenztem Umfang um die Artt. radioulnares proximalis und distalis (siehe Kapitel 2.3.1.2.4) einwärts und auswärts zu rotieren. Vier Muskeln sind für diese Bewegungen verantwortlich: die Supinatoren **M. brachioradialis** und **M. supinator** sowie die Pronatoren **M. pronator teres** und **M. pronator quadratus** (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. brachioradialis

Der M. brachioradialis, (Ober-)Armspeichenmuskel, ist ein langer, schmaler Muskel, der seinen Ursprung an der Crista supracondylaris lateralis hat – nach SALOMON (2008a) und HERMANSON (2013) proximal des M. extensor carpi radialis - über die Beugeseite des Ellbogengelenks und den M. extensor carpi radialis zieht (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und am Proc. styloideus radii (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. an der Medialfläche des Radius zwischen dessen drittem und viertem Viertel ansetzt (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a). Er fehlt häufig (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Supination von Unterarm und Pfote (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. supinator

Der M. supinator, kurzer Auswärtsdreher, liegt, vom M. extensor carpi radialis und den beiden Zehenstreckern bedeckt, in der Beuge des Ellbogens (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) direkt auf der Gelenkkapsel und dem proximalen Viertel des Radius (HERMANSON, 2013;

SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein Ursprung sind der Epicondylus lateralis humeri (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), das laterale Seitenband des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und das Lig. anulare radii (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Von dort ziehen seine Fasern medial und distal und setzen am medialen Rand des Radius an (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). In die Ursprungssehne ist häufig ein Sesambein eingelagert (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a).

Funktion: Supination von Unterarm und Pfote (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. pronator teres

Der. M. pronator teres, runder Einwärtsdreher, entspringt fleischig und sehnig am Epicondylus medialis des Humerus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) proximal der medialen Bandgrube direkt vor dem M. flexor carpi radialis (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Von dort verläuft er in mediodistaler Richtung über das Ellbogengelenk und inseriert mit einer kräftigen Sehne an der kraniomedialen Fläche des Radius (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) distal des M. supinator (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Pronation von Unterarm und Pfote (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Beugung des Ellbogengelenks (SALOMON, 2008a; ZIMMERMANN, 1928)

Innervation: N. medianus (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. pronator quadratus

Der. M. pronator quadratus, viereckiger Einwärtsdreher, zieht mit quer verlaufenden Fasern medial von der Membrana interossea und der Ulna über das Spatium interosseum antebrachii hinweg zum Radius, an dem er medial und kaudal inseriert (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Mit Ausnahme des proximalen und des distalen Bereichs dehnt er sich dabei fast über die gesamte Unterarmlänge aus (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der Muskel wird vom tiefen Zehenbeuger verdeckt (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a).

Funktion: Pronation von Unterarm und Pfote (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. medianus (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.3.4 Muskeln des Vorderfußwurzelgelenks (Karpalgelenks)

Die Muskeln des Karpalgelenks sind durchweg zweigelenkig mit Ursprung am Humerus und Ansatz am Karpalgelenk oder Metakarpus (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Ihre Funktion beschränkt sich jedoch auf Beugung und Streckung des Karpalgelenks (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Streckmuskeln liegen grundsätzlich kraniolateral am Unterarm, die Beugemuskeln kaudal. Gleiches gilt für die langen Muskeln der Vorderzehen (siehe Kapitel 2.3.2.3.5) (LIEBICH et al., 2012). Die Muskeln des Vorderfußwurzelgelenks umfassen den **M. extensor carpi radialis**, den **M. extensor carpi ulnaris**, den **M. flexor carpi radialis** und den **M. flexor carpi ulnaris** (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. extensor carpi radialis

Der M. extensor carpi radialis, äußerer Speichenmuskel, ist der bedeutendste Streckmuskel des Karpalgelenks (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er ist ein kräftiger, fleischiger Muskel, der an der Crista supracondylaris lateralis des Humerus entspringt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), z.T. verbunden mit dem M. extensor digitorum communis (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dort liegt er der Gelenkkapsel auf, die sich schleimbeutelartig ausbuchtet (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er zieht auf der Vorderseite des Radius nach distal und teilt sich am Übergang zum distalen Drittel des Unterarms in zwei Sehnen auf, die gemeinsam in der mittleren Sehnenrinne des Radius und weiter über die Streckseite des Karpalgelenks verlaufen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Sehnen inserieren proximodorsal an den Metakarpalknochen (Mc) II und III (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Bei ihrer Überquerung des Karpalgelenks werden die Endsehnen durch eine Faszienv Verstärkung (Retinaculum extensorum, siehe Seite 31) in Position gehalten und bei etwa 50 % der Tiere von einer gemeinsamen Sehnenscheide, **Vagina tendinis m. extensoris carpi radialis**, umschlossen (HERMANSON, 2013;

SALOMON, 2008a). Manchmal liegt auf Höhe der proximalen Karpalknochen ein Schleimbeutel unter beiden oder nur der lateralen Sehne, und gelegentlich findet man einen zweiten Schleimbeutel unter der lateralen Sehne auf Höhe der distalen Karpalknochen (HERMANSON, 2013).

Funktion: Streckung des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Fixation des Karpalgelenks (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Stabilisation der Schultergliedmaße im Stand (SALOMON, 2008a); Beteiligung an der Beugung des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) tiefer Ast (HERMANSON, 2013)

M. extensor carpi ulnaris (M. ulnaris lateralis)

Der M. extensor carpi ulnaris, äußerer Ellbogenmuskel, ist ein flacher Muskel, der sehnig hinter dem lateralen Seitenband des Ellbogengelenks am Epicondylus lateralis des Humerus entspringt, mit seiner Endsehne lateral über den Karpus zieht und proximolateral am Mc V inseriert (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Unter der Ursprungssehne findet sich bei älteren Hunden stets ein Schleimbeutel (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a). Die Endsehne ersetzt, unterstützt von Faserzügen vom Os carpi accessorium, das Lig. collaterale carpi laterale (LIEBICH et al., 2012). Sie entlässt weiterhin zwei schwache Äste, von denen einer dorsolateral in das Retinaculum extensorum einstrahlt, während der andere lateral über das Os carpi accessorium hinweg zieht und sich mit dem Retinaculum flexorum verbindet (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Letzterer ist von einem Schleimbeutel unterlagert (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Unterstützung der Streckung in Streckstellung des Gelenks (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a); Abduktion des Karpalgelenks (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Supination des Unterarms; Unterstützung des M. flexor carpi ulnaris (HERMANSON, 2013)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. flexor carpi radialis

Der M. flexor carpi radialis, innerer Speichenmuskel, ist ein kurzer, spindelförmiger Muskel, der kaudal am medialen Rand des Radius zwischen M. pronator teres und

M. flexor digitorum superficialis liegt (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein Ursprung liegt am Epicondylus medialis humeri hinter dem medialen Seitenband des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), wo er von einer Aussackung der Gelenkkapsel wie von einem Schleimbeutel unterlagert ist (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Auf mittlerer Höhe des Unterarms geht der Muskel in eine Sehne über, die, in eine Sehnenscheide, **Vagina tendinis m. flexoris carpi radialis**, eingebettet, über die Beugeseite des Karpalgelenks zieht (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dabei wird sie vom Retinaculum flexorum in Position gehalten (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Ihren Ansatz findet die Sehne nach Aufspaltung in zwei kurze Schenkel proximopalmar an den Mc II und III (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. medianus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. flexor carpi ulnaris

Der M. flexor carpi ulnaris, innerer Ellbogenmuskel, besteht aus zwei eigenständigen Muskelbäuchen, dem **Caput humerale** und dem **Caput ulnare**. Sie liegen dem Unterarm kaudolateral auf (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das oberflächlicher gelegene Caput ulnare entspringt mediokaudal am Olekranon (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), geht bereits vor der Mitte des Unterarms in eine flache Sehne über, zieht lateral und kaudal des M. flexor digitorum superficialis nach distal (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und inseriert am Os carpi accessorium (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das deutlich stärkere Caput humerale hat seinen Ursprung sehnig am Epicondylus medialis humeri (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) direkt hinter dem M. flexor digitorum superficialis, welcher den Muskelteil im weiteren Verlauf größtenteils überdeckt und nur den distalen Teil der lateralen Kante sowie die Endsehne freilässt (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Diese inseriert eigenständig am Os carpi accessorium (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Laut LIEBICH et al. (2012) verschmelzen die Endsehnen der beiden Köpfe und inserieren

gemeinsam. Unter der Ursprungssehne des Caput humerale liegt ein Schleimbeutel, der mit dem des oberflächlichen Zehenbeugers in Verbindung steht (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Ein zweiter Schleimbeutel ist zwischen die Endsehnen und dem Os carpi accessorium eingelagert (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). SALOMON (2008a) beschreibt hier eine Sehnenscheide, **Vagina tendinis m. flexoris carpi ulnaris**, anstelle eines Schleimbeutels.

Funktion: Beugung des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); ggr. Supination des Karpalgelenks (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Abduktion des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013); Stabilisierung der Gliedmaße (SALOMON, 2008a).

Innervation: N. ulnaris (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.3.5 Muskeln der Vorderzehen

Die Hauptaufgaben der Vordergliedmaße sind das Gehen und das Stützen des Körpers im Stand. Entsprechend liegt die Funktion der Muskeln der Vorderzehen vor allem in der einheitlichen Beugung und Streckung der Zehen, die ihre selbständige Beweglichkeit fast vollständig verloren haben. Zwar gibt es spezielle Muskeln für die Bewegung der 1., 2. und 5. Zehe, jedoch sind diese nur schwach ausgebildet und daher von untergeordneter Bedeutung. Nach ihrem Ursprung lassen sich die Muskeln der Vorderzehen in lange und kurze Zehenmuskeln einteilen (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die langen Zehenmuskeln nehmen ihren Ursprung proximal am Unterarm oder am distalen Humerus und ziehen mit langen, kräftigen Endsehnen über das Karpalgelenk, um sich dann auf die einzelnen Strahlen aufzuteilen und an den Zehen zu inserieren. Die Sehnen werden auf Höhe des Karpalgelenks durch Sehnenrinnen im unterliegenden Knochen und Haltebänder aus den Faszien in Position gehalten. Man unterscheidet lange Zehenstrecker und lange Zehenbeuger (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die kurzen Zehenmuskeln spannen sich zwischen Mittelfuß und den Zehen aus. Je nach Bezug auf ihre Funktion für die einzelnen Zehen können gemeinsame und besondere kurze Zehenmuskeln unterschieden werden (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

2.3.2.3.5.1 Lange Zehenstrecker

Die Muskelbäuche der langen Zehenstrecker befinden sich kraniallateral am Unterarm zwischen den Mm. extensor carpi radialis und extensor carpi ulnaris. Die Gruppe umfasst den **M. extensor digitorum communis**, den **M. extensor digitorum lateralis**, den **M. extensor pollicis longus et indicis** und den **M. abductor pollicis longus** (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. extensor digitorum communis

Der M. extensor digitorum communis, gemeinsamer Zehenstrecker, ist ein schlanker Muskel, der lateral des M. extensor carpi radialis liegt und in seinem Anfangsteil sehnig mit diesem verbunden ist (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er entspringt am Epicondylus lateralis humeri (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) über dem lateralen Seitenband des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), wo er von einer schleimbeutelartigen Ausbuchtung der Gelenkkapsel unterlagert wird (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), und aus der Unterarmfaszie (HERMANSON, 2013). Auf seinem Weg zur Dorsalseite des Karpalgelenks spaltet er sich in vier dicht beieinander liegende Bäuche auf, die am Übergang zum distalen Radiusdrittel in immer noch eng miteinander verbundene Sehnen übergehen (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Sehnen ziehen - zusammen mit der des M. extensor pollicis longus et indicis (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)) - in einer gemeinsamen Sehnenscheide, **Vagina tendinis m. extensoris digitorum communis**, in der lateralen Sehnensrinne des Radius über den M. abductor pollicis longus und dorsolateral über das Karpalgelenk hinweg, wobei das Retinaculum extensorum sie in Position hält (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Proximal am Metakarpus trennen sich die Sehnen und ziehen einzeln zu den Endphalangen II bis V, wo sie am Dorsalteil des Krallenfalzes ansetzen (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). An den Zehengrundgelenken gleiten die Sehnen über die in die Gelenkkapsel eingelagerten dorsalen Sesambeine, an den Zehenmittelgelenken enthalten sie selbst knorpelige Einlagerungen (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Auf Höhe der Phalanx proximalis zieht von jeder Seite ein dünner Unterstützungsast von den Mm. interossei an alle vier Sehnen. Die Sehnen der 3. bis 5. Zehe verschmelzen in diesem Bereich zusätzlich

mit den Endsehnen des M. extensor digitorum lateralis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Streckung der Zehengelenke der Stützzenen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Streckung des Karpalgelenks (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); tiefer Ast (HERMANSON, 2013)

M. extensor digitorum lateralis

Der M. extensor digitorum lateralis, seitlicher Zehenstrecker, sitzt an der Seitenfläche des Unterarms zwischen M. extensor digitorum communis und M. extensor carpi ulnaris (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er besteht aus zwei eng miteinander verbundenen Muskelbäuchen, deren gemeinsamer Ursprung am lateralen Seitenband des Ellbogengelenks (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), am lateralen Bandhöcker des Radius (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. am Epicondylus lateralis humeri (HERMANSON, 2013) sowie an der Ulna (LIEBICH et al., 2012) liegt. Bereits auf Höhe des proximalen Unterarmdrittels (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. in der distalen Hälfte des Unterarms (HERMANSON, 2013) werden die Bäuche sehnig und ziehen, weiterhin eng verbunden und (in ca. 50 % der Fälle (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)) von einer Sehnenscheide, **Vagina tendinis m. extensoris digitorum lateralis**, umhüllt, dorsolateral über den Karpus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Während die laterale auf der Lateralseite des Mc V bis zur Phalanx proximalis der 5. Zehe zieht, spaltet sich die mediale Sehne distal des Karpus in zwei Sehnen auf, die unter denen des gemeinsamen Zehenstreckers zur Phalanx proximalis der 4. und 3. Zehe ziehen. Die drei Sehnen verbinden sich mit den entsprechenden Sehnen des gemeinsamen Zehenstreckers (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Sehne der 5. Zehe inseriert neben dem gemeinsamen Ansatz an der Phalanx proximalis mit der Endsehne des M. extensor dig. communis zusätzlich proximal an den Phalangen proximalis und media (HERMANSON, 2013). Die Endsehnen der 3. und 4. Zehe verbinden sich häufig mit den Unterstützungsästen der Mm. interossei (HERMANSON, 2013).

Funktion: Streckung der Zehengelenke der 3. bis 5. Zehe (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. extensor pollicis longus et indicis (M. extensor digiti I et digiti II)

Der M. extensor pollicis longus et indicis, besonderer Strecker der 1. und 2. Zehe, entspringt im mittleren Drittel des kraniolateralen Randes der Ulna, vom M. extensor carpi ulnaris und den Mm. extensores digitorum communis und lateralis bedeckt, unterkreuzt die Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers und zieht sehnig über die Streckseite des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dabei ist er zusammen mit der Sehne des gemeinsamen Zehenstreckers von einer Sehnenscheide, **Vagina tendinis m. extensoris digitorum communis**, eingehüllt (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Auf Höhe des Mc III gabelt sich die Sehne in zwei Schenkel. Der mediale Schenkel verläuft bogenförmig zum distalen Ende des Mc I, wo er inseriert, der laterale verschmilzt mit der Endsehne des gemeinsamen Zehenstreckers für die 2. Zehe (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Gelegentlich spaltet der laterale Ast einen weiteren Zweig zur 3. Zehe ab (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). In Einzelfällen kann der Muskel zwei getrennte Muskelbäuche haben (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a).

SALOMON (2008a) beschreibt den Muskel als zwei selbständige Muskeln, die weitgehend miteinander verschmolzen sind, HERMANSON (2013) spricht von einem Muskel, der einen Zusammenschluss aus zwei Muskeln darstellt.

Funktion: Streckung der 1. und 2. Zehe; Adduktion der 1. Zehe (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. abductor pollicis longus

Der M. abductor pollicis longus, langer Auswärtszieher des Daumens, ist ein etwa dreieckiger Muskel, der großflächig in der Mitte des Unterarms am lateralen Rand des Radius, laterokaudal an der Ulna (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und an der Membrana interossea antebrachii (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) entspringt und mit konvergierendem Faserverlauf schräg distal und medial zieht (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Seine Sehne überquert die Endsehne des M. extensor carpi radialis nach medial (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und

FREWEIN, 2004), wobei sie von einer unterschiedlich großen Sehnenscheide umhüllt (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und von einem Schleimbeutel unterlagert wird (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Nach HERMANSON (2013) gibt es an dieser Stelle entweder eine Sehnenscheide oder einen Schleimbeutel. Die Sehne verläuft auch in der medialen Sehnenrinne des Radius (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Vor ihrem Ansatz an der Medialfläche des Mc I ist immer ein Sesambein eingelagert (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: ggr. Adduktion des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Abduktion der 1. Zehe (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Streckung der 1. Zehe (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a); Streckung des Karpalgelenks (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.3.5.2 Lange Zehenbeuger

Die Muskelbäuche der langen Zehenbeuger liegen auf der Kaudalseite des Unterarms zwischen den Mm. flexores carpi radialis und ulnaris. Ihre Endsehnen ziehen palmar über Karpalgelenk, Mittelhand und Zehen, um an den mittleren oder distalen Zehengliedern anzusetzen. Zu dieser Gruppe gehören der **M. flexor digitorum superficialis**, der **M. flexor digitorum profundus**, und die **Mm. interflexorii** (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. flexor digitorum superficialis

Der M. flexor digitorum superficialis, oberflächlicher Zehenbeuger, ist ein flacher Muskel, der kaudomedial am Unterarm auf dem M. flexor digitorum profundus und dem Caput humerale des M. flexor carpi ulnaris liegt (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein Ursprung befindet sich zwischen den genannten Muskeln am Epicondylus medialis humeri (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), wo seine Ursprungssehne von einem Schleimbeutel unterlagert wird (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Oberhalb des Karpalgelenks wird der Muskel zur **oberflächlichen Beugesehne** (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und

FREWEIN, 2004). Diese zieht medial des Os carpi accessorium über die Beugeseite des Karpalgelenks (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), wobei ein Schleimbeutel zwischen Sehne und dem Karpalknochen eingelagert sein kann (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das Retinaculum flexorum trennt hier die oberflächliche von der tiefen Beugesehne (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im proximalen Bereich des Metakarpus teilt sich die Sehne in 4 Äste auf, welche an die 2. bis 5. Zehe ziehen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Kurz vor Erreichen des Zehengrundgelenks ummanteln sie die entsprechenden Äste der tiefen Beugesehne röhrenförmig (**Manica flexoria**) und entlassen sie distal der Sesambeine durch schlitzförmige Öffnungen an die Oberfläche, während sie selbst am proximopalmaren Rand der jeweiligen Phalanx media anheften (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im Bereich der Sesambeine sind die Äste der oberflächlichen Beugesehne dorsal gefenstert, so dass die Äste der tiefen Beugesehne direkt über die Facies flexoria der Sesambeine gleiten (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). In ihrem Verlauf entlang der Zehenglieder werden die Äste der beiden Beugesehnen von einer gemeinsamen Sehnenscheide umgeben (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und durch Ringbänder (ein proximales am Zehengrundgelenk, ein mittleres an der Phalanx proximalis und ein distales an der Phalanx media) in Position gehalten (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung der ersten beiden Zehengelenke der Stützzehen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Beteiligung an der Beugung des Vorderfußes (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. medianus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. ulnaris (LIEBICH et al., 2012)

M. flexor digitorum profundus

Der M. flexor digitorum profundus, tiefer Zehenbeuger, liegt, von den Karpalgelenksbeugern und dem oberflächlichen Zehenbeuger bedeckt, dem Unterarm mediokaudal auf (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er besteht aus drei vollständig voneinander getrennten Köpfen: dem starken, selbst aus drei undeutlich getrennten Bäuchen bestehenden **Caput humerale**, dem schwachen **Caput radiale** und dem

Caput ulnare. Das Caput humerale entspringt einheitlich sehnig, von einem Kapselschleimbeutel unterlagert, am Epicondylus medialis humeri hinter dem M. flexor carpi radialis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das Caput radiale hat seinen Ursprung am medialen Rand sowie an der Kaudalfläche des Radius, während das Caput ulnare vom Olekranon (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bis weit distal am Hinterrand der Ulna (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) entspringt. Die Muskelbäuche der drei Köpfe gehen proximal des Karpus in Sehnen über, die unmittelbar miteinander zur **tiefen Beugesehne** verschmelzen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Diese zieht, von einem Schleimbeutel, **Bursa subtendinea musculi flexoris digitorum profundi**, unterlagert (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. einer Sehnenscheide umgeben (HERMANSON, 2013), unter dem Retinaculum flexorum – durch den Karpaltunnel - über die Beugeseite des Karpalgelenks und spaltet medial einen Ast für die 1. Zehe ab (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Nach HERMANSON (2013) ist dieser Ast die Sehne des Caput radiale. Anschließend teilt sich die tiefe Beugesehne in vier Äste, die zu den Grundgelenken der 2. bis 5. Zehe ziehen (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Dort werden sie durch die korrespondierenden Äste der oberflächlichen Beugesehne ummantelt und erst wieder distal der Sesambeine durch schlitzförmige Öffnungen an die Oberfläche entlassen (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im Bereich der Sesambeine sind die Äste der oberflächlichen Beugesehne jeweils dorsal gefenstert, so dass die entsprechenden Äste der tiefen Beugesehne direkt über die Facies flexoria der Sesambeine gleiten (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Endsehnen ziehen weiter, durch Ringbänder an der Phalanx proximalis und media fixiert, zum Tuberculum flexorium des Krallenbeins (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im Bereich der Zehen sind die Endsehnen in Sehnenscheiden, **Vaginae synoviales tendinum digitorum manus**, eingehüllt, an der 1. Zehe in eine eigene, an den übrigen Zehen in eine gemeinsame mit der jeweiligen Sehne des oberflächlichen Zehenbeugers (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung des Vorderfußes (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Beugung aller Zehengelenke (HERMANSON, 2013), v.a. der Zehenendgelenke aller Zehen (SEIFERLE und FREWEIN, 2004),

Innervation: N. medianus, N. ulnaris (LIEBICH et al., 2012); Caput ulnare: N. ulnaris (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und N. medianus (HERMANSON, 2013); Caput radiale: N. medianus (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Caput humerale: N. medianus und N. ulnaris (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) - laterale Portion: N. ulnaris, N. medianus; mediale und tiefe Portion: N. medianus (AGDUHR, 1915)

M. interflexorius distalis

Der M. interflexorius distalis, Zwischenbeugemuskel, entspringt als schlanker Muskel im letzten Viertel des Unterarms am lateralen Bauch des Caput humerale des tiefen Zehenbeugers und zieht zwischen diesem und dem oberflächlichen Zehenbeuger zum Karpalgelenk, wo er sehnig zusammen mit der tiefen Beugesehne unter dem Retinaculum flexorum hindurchtritt, sich über dem Mittelfuß in zwei bis drei Sehnen aufteilt und proximal der Zehengrundgelenke mit den Ästen der oberflächlichen Beugesehne für die 2. oder 3. bis 4. Zehe verschmilzt (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). LIEBICH et al. (2012) sprechen von mehreren Muskeln, nennen jedoch keine Anzahl.

Funktion: Unterstützung der langen Zehenbeuger, damit Hilfsbeuger der Zehengelenke (LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Beugung der Vorderpfote (HERMANSON, 2013)

Innervation: N. medianus (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. ulnaris (LIEBICH et al., 2012)

2.3.2.3.5.3 Gemeinsame kurze Zehenmuskeln

Die gemeinsamen kurzen Zehenmuskeln haben Verbindung zu mehreren Strahlen des Vorderfußes, daher können sie sowohl einzelne als auch mehrere Zehen gleichzeitig bewegen. Zu dieser Gruppe werden die **Mm. interossei**, die **Mm. lumbricales** und der **M. flexor digitorum brevis** gerechnet (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Mm. interossei

Die vier rein fleischigen Mm. interossei, Zwischenknochenmuskeln, des Hundes entspringen am proximalen Ende der Mc II bis V (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und

FREWEIN, 2004) und aus dem Lig. carpi radiatum (LIEBICH et al., 2012) bzw. der Gelenkkapsel der Karpometakarpalgelenke (HERMANSON, 2013), liegen den Metakarpalknochen im weiteren Verlauf direkt auf und inserieren nach Aufspaltung in zwei Bäuche mit je einer Sehne an den Sesambeinen der Zehengrundgelenke (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. proximopalmar an den Phalanges proximales (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a). Kurz vor ihrem Ansatz geben sie beiderseits je einen dünnen Unterstützungsast nach dorsal an die entsprechenden Äste des gemeinsamen Zehenstreckers ab (LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung des Zehengrundgelenks der Stützzehen (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. medianus (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. ulnaris (SALOMON, 2008a), dessen tiefer Ast (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Mm. lumbricales

Die drei Mm. lumbricales, wurmförmige Muskeln, entspringen aponeurotisch an der tiefen Beugesehne, dort wo sie sich in ihre vier Schenkel teilt, und ziehen mit und zwischen diesen (Schenkeln) zum Zehengrundgelenk der 2. (LIEBICH et al., 2012) bzw. 3. (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bis 5. Zehe, wo sie jeweils mit einer feinen Sehne am Lig. palmare (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. an der Phalanx proximalis (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008a) inserieren (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung der Zehengrundgelenke der Stützzehen (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004); Antagonisierung der Zehenstrecke durch Unterstützung des Muskeltonus der Beugesehnen (LIEBICH et al., 2012)

Innervation: N. medianus (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. ulnaris (SALOMON, 2008a), dessen tiefer Ast (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. flexor digitorum brevis

Der M. flexor digitorum brevis, kurzer Zehenbeuger, entspringt beim Hund lateral an der oberflächlichen Beugesehne bzw. an deren Schenkel für die 5. Zehe, verläuft mit dieser zur 5. Zehe, wo er sich mit einer dünnen Sehne am proximalen Ringband (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. palmar an der Phalanx proximalis (SALOMON, 2008a) anheftet (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Funktion: Beugung der 5. Zehe (SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

Innervation: N. medianus (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. ulnaris (SALOMON, 2008a), dessen tiefer Ast (SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

2.3.2.3.5.4 Besondere kurze Zehenmuskeln

Der Hund besitzt kurze Zehenmuskeln für die unabhängige Bewegung der Zehen 1, 2 und 5. Diese sind für die 1. Zehe der **M. flexor pollicis brevis**, der **M. abductor pollicis brevis** und der **M. adductor pollicis**, für die 2. Zehe der **M. adductor digiti II** und für die 5. Zehe die **Mm. flexor digiti V**, **adductor digiti V** sowie **abductor digiti V** (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Ihre jeweilige Funktion ergibt sich aus ihren Namen und wird nicht extra erwähnt.

Innervation: N. medianus (SEIFERLE und FREWEIN, 2004); N. ulnaris (SALOMON, 2008a), dessen tiefer Ast (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004)

M. flexor pollicis brevis (M. flexor digiti I brevis)

Der M. flexor pollicis brevis liegt zwischen dem zugehörigen Abduktor und Adduktor (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein Ursprung ist das Lig. carpi radiatum (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. das Retinaculum flexorum (SALOMON, 2008a), sein Ansatzpunkt das Sesambein oder die Phalanx proximalis (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. abductor pollicis brevis (M. abductor digiti I brevis)

Der M. abductor pollicis brevis ist ein dünner Muskel medial vom M. flexor pollicis brevis (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er entspringt aus einem Bindegewebsstrang, der zwischen dem Schleimbeutel in der Endsehne des M. abductor pollicis longus und der oberflächlichen Beugesehne verkehrt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004), bzw. vom Retinaculum flexorum (HERMANSON, 2013) und inseriert an den Bändern des Zehengrundgelenks (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) sowie medial an der Phalanx proximalis der 1. Zehe (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. adductor pollicis (M. adductor digiti I)

Der M. adductor pollicis stellt den stärksten Sondermuskel der 1. Zehe dar (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein Ursprung liegt zwischen dem M. flexor pollicis brevis und dem M. interosseus der 2. Zehe am Lig. carpi radiatum (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. am Retinaculum flexorum (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a) die Ansatzstelle ist lateral an der Phalanx proximalis der 1. Zehe (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. adductor digiti II

Der M. adductor digiti II entspringt als schlanker Muskel zwischen M. interosseus II und M. adductor digiti V am Lig. carpi radiatum (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. am Retinaculum flexorum (SALOMON, 2008a) und zieht zwischen den Mm. interossei für die Zehen 2 und 3 zur Phalanx proximalis der 2. Zehe (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a), an der er lateral inseriert (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. flexor digiti V

Der M. flexor digiti V entspringt an einem Band, das zwischen Os carpi accessorium und Mc IV verläuft, zieht über den M. interosseus der 5. Zehe hinweg und verbindet sich mit der Sehne des M. abductor digiti V (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Laut SALOMON (2008a) setzt er am ersten Zehenglied der 5. Zehe an.

M. adductor digiti V

Der M. adductor digiti V hat seinen Ursprung lateral vom M. adductor digiti II am Lig. carpi radiatum (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) bzw. M. Retinaculum flexorum (SALOMON, 2008a). Nach schrägem Verlauf über die Mm. interossei der 3. und 4. Zehe inseriert er zwischen den Mm. interossei 4 und 5 medial am Mc V (HERMANSON, 2013; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) sowie an der Phalanx proximalis der 5. Zehe (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

M. abductor digiti V

Der M. abductor digiti V stellt den stärksten Sondermuskel der 5. Zehe dar (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Er entspringt am Os carpi accessorium und inseriert, nachdem sich seine Endsehne mit der des M. flexor digiti V verbunden hat, am lateralen Sesambein sowie lateral an der Phalanx proximalis der 5. Zehe (HERMANSON, 2013; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

2.3.3 Statik und Dynamik

Statik

Jeder Organismus unterliegt den Gesetzen von Statik und Dynamik, so auch der Körper des Hundes. Im Stand wie in der Bewegung muss er die Körperlast tragen bzw. abfedern und jederzeit das Gleichgewicht halten. Eine große Bedeutung kommt hierbei der Lage des Körperschwerpunktes zu. Dieser befindet sich beim Hund in der Medianen direkt hinter dem Brustbein etwa auf Höhe des 9. Interkostalraums am

Übergang vom mittleren zum unteren Drittel des Rumpfes (FISCHER und LILJE, 2011; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Somit liegt der Schwerpunkt näher an den Vordergliedmaßen, die demnach den größeren Teil der Körperlast zu tragen haben (FISCHER und LILJE, 2011; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Aus diesem Grund besitzen die Vordergliedmaßen den Aufbau einer Stützsäule (Stand) sowie eines Auffanghebels (Bewegung), der den Schub, der von den Hintergliedmaßen produziert wird, auffängt und abfedert (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der knöcherne Schultergürtel ist auf die Schulterblätter reduziert, die seitlich am Thorax liegen mit Ausrichtung auf die in der Bewegung aufzufangende Körperlast (kaudodorsal gerichtet) (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Funktionell entsprechen sie dem Oberschenkelknochen an der Hintergliedmaße (FISCHER und LILJE, 2011). Zwischen ihnen und dem Rumpf besteht keine knöcherne Verbindung, allein Muskeln und Bindegewebe befestigen die Gliedmaßen synsarkotisch am Rumpf und bilden eine Art beweglichen Tragegurt, der ein Abfedern der Rumpflast in der Bewegung ermöglicht (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Wichtigste Muskeln dieses Tragegurts sind der *M. serratus ventralis* und der *M. pectoralis profundus* (SEIFERLE und FREWEIN, 2004; SLIJPER, 1946). (CARRIER et al., 2006) haben in einer Studie gezeigt, dass die Aufhängung des Rumpfes im Trab allein durch den *M. serratus ventralis thoracis* geleistet wird, während die *Mm. pectorales* und der *M. rhomboideus* für die Bewegung der Gliedmaße und die Stabilisierung des Schulterblattdrehpunktes zuständig sind.

Für die Stützfunktion im Stand ausschlaggebend ist die Stabilisierung der Gelenke (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Die Vordergliedmaße ist eine gelenkige Säule, deren wichtigste drei Gelenke, das Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk, in unterschiedlicher Weise gegen Einknicken nach vorn, hinten oder zur Seite geschützt sein müssen (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Zur Seite hin geschieht dies durch starke seitliche Gelenkbänder bzw. an der Schulter durch kontraktile Spannbänder (*M. infrapinatus*, *M. subscapularis*). Nach vorn und nach hinten übernehmen Muskeln diese Funktion (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sie enthalten meist entweder sehnige Einlagerungen oder bestehen zu einem großen Teil oder ganz aus ermüdungsresistenten Muskelfasern des Typs I, durch die sie diese Funktion in einer kraftsparenderen Weise ausüben können und somit als sog. Antischwerkraftmuskeln fungieren (ARMSTRONG et al., 1982; SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Zu den Stabilisatoren des Schultergelenks zählen nach SEIFERLE und FREWEIN (2004):

- M. supraspinatus: Er besteht zu 46% +/- 20% aus Typ I-Fasern (ARMSTRONG et al., 1982).
- M. infraspinatus: Er ist stark gefiedert und sehnig durchsetzt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Außerdem besteht er zu 59% +/- 17% aus Typ I-Fasern (ARMSTRONG et al., 1982).
- M. subscapularis: Er ist ebenfalls stark gefiedert und sehnig durchsetzt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Sein Anteil an Typ-I-Fasern beträgt 44% +/- 10% (ARMSTRONG et al., 1982).
- M. biceps brachii: Er enthält ausgeprägte Sehneneinlagerungen und einen hohen Anteil (48% +/- 19% (ARMSTRONG et al., 1982)) an Typ-I-Muskelfasern (SALOMON, 2008a; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die Stabilisatoren des Ellbogengelenks sind nach SEIFERLE und FREWEIN (2004):

- M. triceps brachii: Besonders seine knochennahen Anteile, Caput mediale und Caput accessorium bestehen fast ausschließlich aus Typ-I-Muskelfasern: 96% +/- 6% bzw. 90% +/- 16% (ARMSTRONG et al., 1982).
- M. anconaeus: Er ist ausschließlich aus Typ-I-Fasern aufgebaut (ARMSTRONG et al., 1982; SALOMON, 2008a),

Das Karpalgelenk wird nach SEIFERLE und FREWEIN (2004) stabilisiert durch:

- M. extensor carpi radialis: Er enthält weder besondere sehnige Einlagerungen noch einen hohen Anteil Typ-I-Muskelfasern ($\leq 20\%$ (ARMSTRONG et al., 1982)), zählt aber laut SEIFERLE und FREWEIN (2004) trotzdem zu den Stabilisatoren des Karpalgelenks, arbeitet also mit reiner Muskelkraft.
- M. flexor carpi ulnaris, hat einen Anteil an Typ-I-Fasern von 77% +/- 14% (ARMSTRONG et al., 1982).

Die Studie von (ARMSTRONG et al., 1982) lässt vermuten, dass zusätzlich die folgenden Muskeln an der Stabilisation des Gelenks, die letzten beiden v.a. gegen Hyperextension, beteiligt sind:

- M. flexor carpi radialis mit einem Anteil an Typ-I-Fasern von 51% +/- 22% (ARMSTRONG et al., 1982).
- M. extensor carpi ulnaris mit einem Anteil an Typ-I-Fasern von 70% +/- 6% (ARMSTRONG et al., 1982).

- M. flexor dig. superficialis mit einem Anteil an Typ-I-Fasern von 89% +/- 3% (ARMSTRONG et al., 1982).

Wie aus den obigen Angaben zu entnehmen und auch von KRÜGER und THUR (1928) nachgewiesen, sind die Vorrichtungen zur passiven Stabilisierung der Gliedmaßen beim Hund nicht so stark ausgeprägt wie z.B. beim Pferd als Lauf- und Fluchttier. Entsprechend ermüden seine Muskeln im Stand schneller, und er nutzt regelmäßig die Möglichkeit, die Muskeln im Liegen ausruhen (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Im Lauf jedoch zeigen Hunde eine besondere Ausdauer, was auf die Zusammensetzung ihrer Muskelfasern zurückzuführen ist (FISCHER und LILJE, 2011). SNOW et al. (1982) konnten bei Hunden keine sich schnell kontrahierenden, aber auch schnell ermüdenden rein glykolytisch arbeitenden Typ-IIB-Fasern nachweisen. Stattdessen besitzen Hunde neben den intermediären oxidativ und glykolytisch arbeitenden Typ-IIA-Fasern einen weiteren intermediären Muskelfasertyp Typ-IIA/X oder Typ-IIX, der ebenfalls ausdauernder arbeiten kann als der Typ-IIB (FISCHER und LILJE, 2011). Dies wird von den Ergebnissen von ARMSTRONG et al. (1982) untermauert, die hohe Aktivitäten oxidativer Enzyme in allen Muskeln von Hunden gemessen haben. Diese Befunde belegen eine hohe Ausdauerleistung des Hundes, was für die ursprüngliche Nahrungssuche und Beutehetze wichtig war (FISCHER und LILJE, 2011).

Dynamik

Bewegungen des gesamten Körpers können in Bewegungen ohne und mit Ortsveränderung eingeteilt werden. Bewegungen ohne Ortsveränderung umfassen das Absitzen, Niederlegen, Wälzen, Aufstehen und Aufrichten auf die Nachhand (MAIERL et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Auf diese soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden. Näheres dazu ist zu finden bei (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Zu den Bewegungen mit Ortsveränderung (Lokomotion) zählt das Laufen mit unterschiedlicher Bewegungsrichtung (nach vorn, zur Seite, nach hinten) und in verschiedenen Gangarten (Schritt, Trab, Pass und Galopp) sowie der Sprung (MAIERL et al., 2012; SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Die Hauptbewegungsrichtung ist bei Tieren stets nach vorn. Nach hinten oder zur Seite bewegen sich Tiere nur zum Ausweichen, in Spiel oder Kampf oder, wenn es nicht anders möglich ist (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Man kann die Lokomotion definieren als rhythmische Verschiebung des Schwerpunktes nach vorn mit unterschiedlichem Kraftaufwand in verschiedener Schnelligkeit und mit verschiedener zeitlicher Aufeinanderfolge der Gliedmaßen. Dabei übernehmen die Hintergliedmaßen hauptsächlich den Schub des Rumpfes

nach vorn, während die Vordergliedmaßen in erster Linie die Rumpflast auffangen und abstemmen (FISCHER und LILJE, 2011; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Nur beim Klettern am steilen Hang, bei schwerem Zug oder im Renngalopp beteiligt sich die Schultergliedmaße auch am Vorwärtsstemmen (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der **Schritt** ist die langsamste Gangart. Er lässt sich unterteilen in flotten Schritt und gewöhnlichen Schritt. Beim flotten Schritt sind Hang- und Stützbeinperioden gleich lang, so dass immer zwei Gliedmaßen, entweder diagonal oder gleichseitig (im Pass), gleichzeitig den Boden berühren. Im gewöhnlichen Schritt ist die Stützbeinphase jeder Gliedmaße gegenüber der Hangbeinphase verlängert, so dass phasenweise drei Beine den Boden berühren, was eine bessere Schubentfaltung im langsamen Schritt bewirkt und von Tieren i.d.R. bevorzugt wird (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der **Trab** ist die Gangart mit dem breitesten Geschwindigkeitsspektrum (FISCHER und LILJE, 2011). Hier unterstützt immer ein diagonales Gliedmaßenpaar den Rumpf, unterbrochen von kurzen Schwebephase, in denen alle vier Gliedmaßen vom Boden abgehoben sind (FISCHER und LILJE, 2011; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Hunde können sehr ausdauernd traben, daher bevorzugen sie diese Gangart besonders (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Der **Galopp** ist die schnellste aller Gangarten. Aufgrund der großen Rassevielfalt unter den Hunden finden sich verschiedene Galoppformen. Die Grundform ist der Sprunggalopp, bei der der Rumpf unter Mitbeteiligung der Wirbelsäule nach vorne geschleudert wird und das Tier quasi von der Hinterhand auf die Vorderhand springt. Die Hintergliedmaßen werden unter Aufkrümmen des Rückens weit unter den Körper geschoben, der Rücken anschließend durchgestreckt und die Hinterbeine vom Boden weggestemmt, wodurch der Körper langgestreckt nach vorn geschleudert wird, wo ihn die weit ausgreifenden Vordergliedmaßen abfangen (FISCHER und LILJE, 2011; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der Rumpf rollt über die beiden Vordergliedmaßen ab, der Rücken krümmt sich, und die Hintergliedmaßen werden erneut unter den Körper geführt. Bevor sie aufsetzen, verlassen die Vordergliedmaßen bereits den Boden. Der Sprunggalopp ist die schnellste aller Galopparten, was für den Fleischfresser sinnvoll ist, wenn er schnelle Beutetiere über kurze Distanzen verfolgen und erlegen muss (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). FISCHER und LILJE (2011) machen eine Unterteilung in symmetrische und asymmetrische Gangarten. Demnach gelten Schritt (inkl. Pass) und Trab als symmetrische Gangarten, da hier die beiden Gliedmaßen einer Körperseite jeweils

eine Einheit bzgl. Bewegung und zeitlichem Rhythmus bilden. Dabei bestimmt der zeitliche Versatz des Auffußens eines Gliedmaßenpaars die Gangart: im Pass fußen Vorder- und Hintergliedmaße einer Körperseite gleichzeitig, im Schritt fußen sie um ein Viertel des Schrittzklus versetzt und im Trab beträgt der Versatz einen halben Schrittzklus. Der Galopp hingegen ist eine asymmetrische Gangart, weil die rhythmische Einheit hier jeweils von den beiden Vorder- bzw. Hintergliedmaßen gebildet wird. Dabei fußen niemals beide Gliedmaßen gleichzeitig auf, sondern es gibt immer eine „erstauffußende“ und eine „zweitauffußende“ Gliedmaße (im englischen „leading limb“ und „trailing limb“).

In allen beschriebenen Gangarten lassen sich für eine Gliedmaße vier, je nach Gangart unterschiedlich lange Bewegungsphasen unterscheiden, die sich in immer gleichbleibender Folge wiederholen. Das **Heben** ist der Moment, in der die Gliedmaße vom Boden gelöst wird. Sie geht dann in das **Schwingen** über, bei der sie nach vorn geführt wird, um zum **Stützen** auf den Boden abgesetzt zu werden. Die vierte Phase ist das **Stemmen**, in der der Rumpf nach vorne gedrückt wird. Ihr schließt sich erneut das Heben an (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Der Bewegungsablauf der Schultergliedmaße erfolgt in einem komplexen Zusammenspiel aller Muskeln inklusive der Schultergürtelmuskulatur (FISCHER und LILJE, 2011; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Während sich die eine Gliedmaße in der sog. Stützbeinphase befindet, also das Gewicht des Rumpfes, das ihr von der gegenseitigen Hintergliedmaße zugeschoben wurde, abfedert und trägt, wird die andere Vordergliedmaße entlastet und geht in die Schwing- oder auch Hangbeinphase über. Dazu wird der Schultergürtel angehoben und alle Gelenke gebeugt, so dass die Gliedmaße verkürzt wird und über dem Boden nach vorne schwingen kann (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

In der Hangbeinphase sind nach FISCHER und LILJE (2011) die folgenden Muskeln und Muskelgruppen aktiv: von den Schultergürtelmuskeln zeigen die Mm. pectorales superficiales, trapezius Pars cervicalis, brachiocephalicus und rhomboideus eine Aktivität, von den Eigenmuskeln sind dies die Mm. deltoideus, teres major, biceps brachii, brachialis, extensor carpi radialis, extensor digitorum communis sowie teilweise der M. flexor carpi radialis.

Für die Beugung der Gelenke sind die folgenden Muskeln verantwortlich: Mm. teres major und minor, M. deltoideus und das Caput longum des M. triceps brachii als Beuger des Schultergelenks, M. biceps brachii und M. brachialis als Beuger des Ellbogengelenks sowie die Mm. flexores carpi radialis und ulnaris und Mm. flexores

digitorum superficialis und profundus als Beuger von Karpal- und Zehengelenken (SEIFERLE und FREWEIN, 2004).

Am eigentlichen Vorschwingen beteiligen sich die Pars cervicalis des M. trapezius (im Schritt und Trab), in den langsamen Gangarten die Pars thoracis des M. rhomboideus, die Pars acromialis des M. deltoideus, der M. brachialis, der M. extensor carpi radialis (hpts. im Schritt) sowie der M. extensor digitorum communis (hpts. in Schritt und Trab) (FISCHER und LILJE, 2011). SEIFERLE und FREWEIN (2004) nennen die Schultergürtelmuskeln M. brachiocephalicus, M. trapezius und M. omotransversarius als maßgeblich am Vorschwingen beteiligte Muskeln, da sie auch das Schulterblatt um sein Drehfeld in der Mitte der Facies serrata (Ansatzfläche des M. serratus ventralis) mit nach vorne drehen helfen.

Am Ende der Hangbeinphase beginnen sich die Gelenke wieder zu strecken, damit die Gliedmaße so weit verlängert wird, dass sie, schräg nach vorne gestellt, den Boden berühren kann (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). In dieser Phase sind hauptsächlich folgende Muskeln im Einsatz: der M. pectoralis profundus, z.T. auch der M. pectoralis superficialis, der gesamte M. trapezius, der M. cleidocervicalis, der M. rhomboideus (vornehmlich die Pars cervicis), der M. deltoideus, der M. teres major, die Mm. supra- und infraspinatus, der M. triceps brachii, der M. extensor carpi radialis, der M. extensor digitorum communis sowie die Beuger der von Karpal- und Zehengelenken (FISCHER und LILJE, 2011). SEIFERLE und FREWEIN (2004) nennen den M. supraspinatus für die Streckung des Schultergelenks, den M. triceps brachii für das Ellbogengelenk sowie die Mm. extensores carpi radialis, digitorum communis et lateralis für die Streckung von Karpal- und Zehengelenken.

Das Hangbein wird nach dem Aufsetzen zum Stützbein, über das der Rumpf nach vorne schwingt. Dabei werden die Gelenke weiter gestreckt, das Karpalgelenk sogar überstreckt, der Rumpf etwas angehoben, und das Bein somit in die Senkrechte aufgerichtet (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das Abbremsen und –federn des Rumpfes übernehmen die Antischwerkraftmuskeln M. serratus ventralis, Mm. flexores carpi ulnaris et radialis, Mm. flexores digitorum superficialis et profundus, der M. triceps brachii und der M. supraspinatus (FISCHER und LILJE, 2011). In der darauf folgenden Vorschubphase des Rumpfes lässt sich eine elektromyographische Aktivität von folgenden Muskeln nachweisen: Mm. trapezius, cleidomastoideus, serratus ventralis, deltoideus, supraspinatus, infraspinatus, teres major, triceps brachii, extensor carpi ulnaris, flexor carpi ulnaris sowie den Zehenbeugern. Gegen Ende der Stützbeinphase kommen noch die Mm. cleidobrachialis, pectoralis superficialis und biceps brachii hinzu (FISCHER und

LILJE, 2011). Nun ist die Gliedmaße schräg nach hinten gestellt und ihre Gelenke maximal gestreckt (SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Das Schulterblatt wird in umgekehrter Richtung bewegt wie in der Hangbeinphase. Hierbei sind die folgenden Muskeln beteiligt: die Mm. latissimus dorsi, rhomboideus, pectoralis profundus (MAIERL et al., 2012) bzw. Mm. trapezius, rhomboideus und gegen Ende der Stützbeinphase pectoralis superficialis (FISCHER und LILJE, 2011).

Der beschriebene Bewegungsablauf gilt grundsätzlich für alle Gangarten, es verändern sich nur die Intensität, in der die Gelenke abgewinkelt werden, sowie der Rhythmus, in dem die Bewegungen erfolgen (SEIFERLE und FREWEIN, 2004) und teilweise die Aktivitätsdauer der einzelnen Muskeln in den verschiedenen Gangarten (FISCHER und LILJE, 2011).

2.3.4 Kreislaufsystem

2.3.4.1 Arterien der Vordergliedmaße

Die arterielle Versorgung der Vordergliedmaße geschieht über die **A. subclavia** (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Diese entspringt beim Hund aus dem Arcus aortae (A. subclavia sinistra) bzw. aus dem Truncus brachiocephalicus (A. subclavia dextra) (BEZUIDENHOUT, 2013a; KÖNIG et al., 2012a; WAIBL et al., 2005). Sie verlässt den Brustkorb im Bogen über die Apertura thoracica cranialis, windet sich um die 1. Rippe, auf deren Höhe sie u.a. die **A. thoracica interna** und die **A. cervicalis superficialis** abgibt, und wird dann zur **A. axillaris** (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005).

A. axillaris und ihre Abzweige

A. axillaris

Die A. axillaris zieht ventral des M. scalenus medius im Bogen nach kaudal zwischen Vordergliedmaße und seitlicher Brustwand (WAIBL et al., 2005). Auf Höhe des Schultergelenks gibt sie ventral die **A. thoracica externa** und dorsal zum kaudalen Rand der Scapula die starke **A. subscapularis** ab (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Manchmal entlässt sie hier zusätzlich den **Ramus deltoideus**, der i.d.R. aus der A. cervicalis superficialis hervorgeht (WAIBL et al., 2005). Der nächste Abzweig aus der A. axillaris ist die **A. thoracica lateralis** an die seitliche Brustwand (WAIBL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013a) beschreibt, dass die A. thoracica lateralis i.d.R. vor der A. subscapularis und nur gelegentlich nach dieser von der A. axillaris abgeht. Die A. axillaris zieht anschließend distal und wird, nachdem sie auf Höhe des

Collum humeri die **A. circumflexa humeri cranialis** abgegeben hat, zur A. brachialis (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005).

A. thoracica externa

Die A. thoracica externa versorgt die Mm. pectorales (WAIBL et al., 2005) bzw. den M. pectoralis superficialis (BEZUIDENHOUT, 2013a). Nach WAIBL et al. (2005) zieht sie von ihrem Ursprung auf Höhe der 1. Rippe kaudal und gabelt sich in einen oberflächlichen und einen tiefen Ast. Der tiefe Ast verläuft medial des M. pectoralis profundus und verzweigt sich in diesem. Der oberflächliche Ast zieht zwischen die Mm. pectorales profundus und superficialis, in die er sich verzweigt. Nach BEZUIDENHOUT (2013a) windet sie sich gemeinsam mit einem Nerv und zwei Venen kranio-medial um den tiefen Brustmuskel und versorgt nur den M. pectoralis superficialis.

A. thoracica lateralis

Die A. thoracica lateralis verläuft von ihrem Abgang aus der A. axillaris in kaudaler Richtung und verzweigt sich unterwegs in die Mm. pectoralis profundus und latissimus dorsi (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Im Winkel zwischen diesen beiden Muskeln tritt sie weiter an die Oberfläche und versorgt den M. cutaneus trunci (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) und die Haut (WAIBL et al., 2005). Außerdem versorgt sie den Ln. axillaris (BEZUIDENHOUT, 2013a). Bei weiblichen Tieren gibt sie ventral gerichtete **Rr. mammarii laterales** an die thorakalen Gesäugekomplexe ab (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005).

A. suprascapularis

Die A. suprascapularis hat ihren Ursprung beim Hund aus der A. cervicalis superficialis (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Von dort zieht sie zusammen mit dem N. suprascapularis kaudal zwischen die Mm. subscapularis, supraspinatus und pectoralis profundus (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Mit einem kräftigen lateralen Zweig versorgt sie die Muskeln auf der Lateralseite der Scapula (M. supraspinatus, M. infraspinatus, M. teres minor) (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008) und gibt auch Aa. nutriciae an das Schulterblatt ab (BEZUIDENHOUT, 2013a). Einige Zweige reichen bis zum Margo dorsalis der Scapula (WAIBL et al., 2005). Mit einem medialen Zweig versorgt die A. suprascapularis den Plexus brachialis (WAIBL et al., 2005). Nach distal gibt sie einen Zweig zwischen die Mm. supraspinatus und coracobrachialis ab, über den auch das Schultergelenk sowie proximale Bereiche des Humerus inklusive der dort ansetzenden Muskeln versorgt werden (WAIBL et al., 2005). Sie geht Anastomosen

mit der *A. circumflexa scapulae* im Bereich des Collum scapulae (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) sowie mit den *Aa. circumflexae humeri proximal* am Humerus ein (WAIBL et al., 2005).

R. acromialis

Der *R. acromialis* entspringt aus der *A. suprascapularis*, manchmal auch direkt aus der *A. cervicalis superficialis*, windet sich kranial um den Rand des *M. supraspinatus*, in den er lateral eindringt und von dort lateral über das Collum scapulae weiterzieht, wo er mit Ästen der *A. subscapularis* anastomosiert (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005).

A. subscapularis

Die *A. subscapularis* entspringt aus der *A. axillaris* in der Beuge des Schultergelenks (WAIBL et al., 2005). Dort gibt sie sofort kaudodorsal die ***A. thoracodorsalis*** sowie kraniallateral die ***A. circumflexa humeri caudalis*** ab (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Dann zieht sie zwischen den *Mm. subscapularis* und *teres major* zur Medialfläche des Caput longum des *M. triceps brachii* und an dieser entlang weiter zum Rückenwinkel der Scapula (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005), wo sie in oberflächliche Lage kommt (BEZUIDENHOUT, 2013a). Am kaudalen Rand des Schulterblatts entlässt sie die ***A. circumflexa scapulae*** (WAIBL et al., 2005) und manchmal zuvor auch die ***A. circumflexa humeri cranialis*** (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). GILLE (2008) erwähnt die *A. circumflexa scapulae* nicht, aber laut ihm entstammt auch die ***A. collateralis radialis***, die bei der *A. circumflexa humeri caudalis* beschrieben ist (s.u.), der *A. subscapularis*. Im gesamten Verlauf gibt die *A. subscapularis* viele, z.T. starke Muskeläste für die Versorgung der Muskeln an der Lateral- und Medialseite des Schulterblatts (WAIBL et al., 2005) (*M. teres major*, *M. subscapularis*, *M. infraspinatus*, *M. deltoideus*, *M. latissimus dorsi* (BEZUIDENHOUT, 2013a)), das Caput longum des *M. triceps brachii* sowie die *Mm. rhomboideus* und *trapezius* ab (WAIBL et al., 2005). Außerdem vaskularisieren oberflächliche Äste einen großen Hautbezirk kaudal und lateral des Rückenwinkels der Scapula (BEZUIDENHOUT, 2013a).

A. thoracodorsalis

Die *A. thoracodorsalis* entstammt der *A. subscapularis* (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). I.d.R. ist sie deren erster Abzweig, sie kann jedoch auch gleichzeitig oder nach der *A. circumflexa humeri caudalis* abgegeben werden (WAIBL et al., 2005). Sie versorgt zunächst den *M. teres major*, den sie medial überquert, dann den *M. latissimus dorsi*, an dessen Medialseite sie zusammen mit

dem N. thoracodorsalis zieht (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Weitere Strukturen, die von der A. thoracodorsalis versorgt werden, sind der M. tensor fasciae antebrachii, der M. cutaneus trunci, die Achsellymphknoten sowie Faszie und Haut kaudal des Schulterblatts (WAIBL et al., 2005).

A. circumflexa humeri caudalis

Die A. circumflexa humeri caudalis verlässt die A. subscapularis in der Beuge des Schultergelenks, entlässt kurz darauf die **A. collateralis radialis** und zieht lateral zwischen Humeruskopf und M. teres major. Lateral vom Collum humeri anastomosiert sie mit der A. circumflexa humeri cranialis (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Dann zieht sie, begleitet von der gleichnamigen Vene und dem N. axillaris, zwischen Caput longum des M. triceps brachii und dem M. brachialis lateral. Sie versorgt alle Muskeln auf ihrem Weg (M. triceps brachii, M. teres minor, M. coracobrachialis (BEZUIDENHOUT, 2013a)), lateral auch den M. deltoideus und den M. infraspinatus, außerdem das Schultergelenk (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Laut BEZUIDENHOUT (2013a) stellt sie die Hauptblutversorgung aller vier Köpfe des M. triceps brachii. Die Arterie oder ihre Äste gehen verschiedene Anastomosen ein: so mit der A. suprascapularis (WAIBL et al., 2005), der A. circumflexa scapulae, der A. cervicalis superficialis und der A. brachialis superficialis (BEZUIDENHOUT, 2013a).

A. collateralis radialis

Die A. collateralis radialis zweigt von der A. circumflexa humeri caudalis auf Höhe der Kaudalfläche des M. brachialis ab (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Kaudal am Humerus gibt sie die **A. nutricia humeri** (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) und die **A. collateralis media** (WAIBL et al., 2005) ab. Letztere zieht zur Fossa olecrani, wo sie an der Bildung des Rete articulare cubiti beteiligt ist (WAIBL et al., 2005). Die A. collateralis radialis windet sich zusammen mit dem N. radialis durch den Sulcus m. brachialis, wobei sie Zweige an die benachbarten Muskeln abgibt (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Ihre Endäste verzweigen sich in den Streckmuskeln kraniolateral am Unterarm (WAIBL et al., 2005).

A. circumflexa scapulae

Die A. circumflexa scapulae verlässt die A. subscapularis am Kaudalrand des Schulterblatts in dessen ventralem Drittel auf Höhe des Foramen nutricium scapulae, an das sie die **A. nutricia scapulae** entlässt. Letztere kann auch direkt aus der A. subscapularis entspringen (WAIBL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013a) nennt

an dieser Stelle kein einzelnes Gefäß sondern spricht von mehreren Zweigen, die von lateral und medial in den Knochen ziehen. Die A. circumflexa scapulae teilt sich in je einen lateralen und medialen Zweig auf, die die Muskeln auf der Lateral- und der Medialseite des Schulterblatts (M. subscapularis, M. infraspinatus (BEZUIDENHOUT, 2013a)) vaskularisieren (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) und an der Inc. scapulae meist mit der A. suprascapularis anastomosieren (WAIBL et al., 2005). Auch diese Zweige können direkt aus der A. subscapularis entspringen (WAIBL et al., 2005).

A. circumflexa humeri cranialis

Die A. circumflexa humeri cranialis ist der letzte Abzweig der A. axillaris (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Manchmal entstammt sie auch der A. subscapularis (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) oder aus der A. axillaris vor Abgabe der A. subscapularis (BEZUIDENHOUT, 2013a). Von ihrem Ursprung aus verläuft sie zunächst zusammen mit dem R. muscularis proximalis des N. musculocutaneus (GILLE, 2008) kranial über den M. coracobrachialis unter die Ursprungssehne des M. biceps brachii, versorgt den Humerus, das Schultergelenk und vaskularisiert die hier ansetzenden Muskeln, v.a. den M. biceps brachii (WAIBL et al., 2005), und die Mm. coracobrachialis, teres major und latissimus dorsi (BEZUIDENHOUT, 2013a). Sie bildet kranial Anastomosen mit der A. circumflexa humeri caudalis, nach proximal mit der A. suprascapularis (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) und nach distal mit der A. superficialis cervicalis (BEZUIDENHOUT, 2013a).

A. brachialis und ihre Abzweige

A. brachialis

Die A. brachialis ist die Fortsetzung der A. axillaris nach Abgabe der A. circumflexa humeri cranialis (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) am distalen Rand der vereinigten Endsehnen der Mm. teres major und latissimus dorsi (BEZUIDENHOUT, 2013a). Geht diese Arterie anstatt von der A. axillaris von der A. subscapularis ab, erfolgt der Namenswechsel dennoch an derselben Stelle (WAIBL et al., 2005). Sie zieht in direkter Linie über die Medialseite des Humerus in seiner distalen Hälfte hinweg in Richtung Ellbogengelenk an den kranialen Rand des M. pronator teres (WAIBL et al., 2005) und im Anschluss unter diesem hindurch nach medial (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008). Dabei gibt sie nach kaudal in dieser Reihenfolge die **A. profunda brachii**, die **A. bicipitalis** (laut GILLE (2008) geht diese nach kranial ab) und die **A. collateralis ulnaris** ab, nach kranial entlässt sie

die **A. brachialis superficialis** und auf der Beugeseite des Ellbogengelenks nach kraniolateral die **A. transversa cubiti** (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Bei der A. bicipitalis, die manchmal aus der A. brachialis superficialis stammen kann, handelt es sich um ein großes Muskelgefäß, das sich im proximalen Teil des M. biceps brachii verzweigt (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Sie kann doppelt ausgebildet sein. In diesem Fall geht meistens ein Ast aus der A. brachialis superficialis hervor (BEZUIDENHOUT, 2013a). Mit kleineren Ästen versorgt sie außerdem den M. coracobrachialis, weitere benachbarte Muskeln sowie das Ellbogengelenk. Diese Äste anastomosieren auch mit der A. recurrens ulnaris (WAIBL et al., 2005). Die Arterie selbst anastomosiert mit dem Muskelast zum M. biceps brachii aus der A. circumflexa humeri cranialis (BEZUIDENHOUT, 2013a). Proximal am Spatium interosseum antebrachii entlässt die A. brachialis die **A. interossea communis**, wodurch sie im weiteren Verlauf zur A. mediana wird (GILLE, 2008; KÖNIG et al., 2012a; WAIBL et al., 2005).

A. profunda brachii

Die A. profunda brachii verlässt die A. brachialis distal der Tuberositas teres major und verzweigt sich unmittelbar in mehrere auseinander laufende Muskeläste, die zusammen mit Ästen des N. radialis den M. triceps brachii durchdringen (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Die Arterie hat Verbindung mit der A. collateralis radialis (WAIBL et al., 2005) bzw. proximal mit der A. circumflexa humeri caudalis und distal mit der A. collateralis ulnaris (BEZUIDENHOUT, 2013a). Gelegentlich ist sie doppelt ausgebildet (BEZUIDENHOUT, 2013a).

A. collateralis ulnaris

Die A. collateralis ulnaris wird von der A. brachialis im distalen Drittel des Oberarms (BEZUIDENHOUT, 2013a) proximal des Epicondylus medialis humeri (WAIBL et al., 2005) entlassen. Sie begleitet den N. ulnaris auf seinem Weg zum Ellbogengelenk (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) und darüber hinweg zur Ulnarisrinne (WAIBL et al., 2005). Dabei gibt sie noch im Bereich des Humerus Muskeläste ab an den M. triceps brachii (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005), den M. tensor fasciae antebrachii und den M. pectoralis transversus (WAIBL et al., 2005). Am Ellbogen beteiligt sie sich an der Bildung des **Rete articulare cubiti**, im Bereich des Unterarms an der Versorgung der Beugemuskeln von Karpalgelenk und Zehengelenken (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Ein oberflächlicher Ast verläuft distal über die Medialseite des Ellbogengelenks und weiter im subkutanen Gewebe in der proximalen Hälfte der Kaudalseite des

Unterarms, begleitet vom N. cutaneus antebrachii caudalis und einer Vene. Er versorgt die Haut hier und anastomosiert mit einem subkutan verlaufenden Ast der A. interossea caudalis (BEZUIDENHOUT, 2013a). Die A. collateralis ulnaris verbindet sich über die A. recurrens ulnaris mit der A. ulnaris, die den N. ulnaris weiter in Richtung Vorderfuß begleitet (WAIBL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013a) beschreibt eine Verbindung mit der A. interossea communis.

A. brachialis superficialis

Die A. brachialis superficialis verlässt die A. brachialis etwa auf gleicher Höhe wie die A. collateralis ulnaris (s.o.) (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Manchmal entlässt sie hier unmittelbar die **A. bicipitalis**, die in der Mehrzahl der Fälle direkt aus der A. brachialis entstammt (WAIBL et al., 2005). In kraniodistaler Verlaufsrichtung überquert sie zusammen mit der V. brachialis superficialis den M. biceps brachii auf der medialen Seite und gibt die **Aa. radiales superficiales** ab (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Letztgenannte Arterien verlaufen zusammen mit den Ästen des N. cutaneus antebrachii medialis zwischen Radius und M. extensor carpi radialis distal (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) und münden in den R. carpeus dorsalis der A. radialis ein (WAIBL et al., 2005). Die A. brachialis superficialis setzt sich jenseits des Ellbogengelenks als A. antebrachialis superficialis cranialis fort (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005).

A. antebrachialis superficialis cranialis

Die A. antebrachialis superficialis cranialis ist die Fortsetzung der A. brachialis superficialis jenseits des Ellbogengelenks (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Sie gabelt sich proximal am M. extensor carpi radialis in einen medialen und einen lateralen Ast, die, begleitet von den gleichnamigen Rami des R. superficialis des N. radialis, am Unterarm distal ziehen (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Der mediale Ast wird auf Höhe des Mittelfußes zur **A. digitalis dorsalis communis I** (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005), nachdem er zuvor mit dem R. dorsalis der A. radialis anastomosiert hat (BEZUIDENHOUT, 2013a). Der laterale Ast zweigt sich in die **Aa. digitales dorsales communes II-IV** auf (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005).

A. transversa cubiti

Die A. transversa cubiti verlässt die A. brachialis proximal der Gelenkwalze des Humerus in kranialer (WAIBL et al., 2005) bzw. lateraler (BEZUIDENHOUT, 2013a) Richtung und wendet sich, dem Knochen aufliegend, auf die Lateralseite, um dort

distal zu ziehen (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Dabei versorgt sie das Ellbogengelenk, die Mm. biceps brachii, brachialis und cleidobrachialis. Am Unterarm verzweigt sie sich zusammen mit tiefen Ästen des N. radialis in den Streckmuskeln von Karpalgelenk und Zehengelenken (WAIBL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013a) nennt als Versorgungsgebiet lediglich die Mm. supinator, brachialis, extensor carpi radialis, extensor digitalis communis. Im kaudolateralen Bereich geht sie eine Verbindung mit der A. interossea cranialis (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) und manchmal mit der A. brachialis superficialis (BEZUIDENHOUT, 2013a) ein.

A. recurrens ulnaris

Die A. recurrens ulnaris entspringt als kleines Gefäß distal des Ellbogens aus der A. brachialis oder manchmal auch aus der A. interossea communis (BEZUIDENHOUT, 2013a). Es erstreckt sich vom Kaudalrand des M. pronator teres in die Gruppe der Beugemuskeln, von denen sie den M. flexor carpi radialis, das Caput humerale des M. flexor digitorum profundus und den M. flexor digitorum superficialis versorgt. Sie bildet Anastomosen mit der A. collateralis ulnaris (s.o.) und mit der A. profunda antebrachii (BEZUIDENHOUT, 2013a).

A. interossea communis

Die A. interossea communis ist der letzte und laut BEZUIDENHOUT (2013a) größte Abzweig der A. brachialis auf Höhe des medialen Seitenbandes des Ellbogengelenks, bevor diese in die A. mediana übergeht (WAIBL et al., 2005). Medial wird sie vom M. pronator teres überdeckt (WAIBL et al., 2005). In ihrem Verlauf zum Spatium interosseum versorgt sie das Ellbogengelenk, die Supinatoren und Pronatoren (BEZUIDENHOUT (2013a) spricht nur vom M. pronator teres), teilweise Radius und Ulna über **Aa. nutriciae** (WAIBL et al., 2005) und gibt die **A. ulnaris** ab (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Am Spatium interosseum teilt sie sich in die **A. interossea cranialis** und **A. interossea caudalis** (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005), die beide distal ziehen und ebenfalls Aa. nutriciae an die Unterarmknochen abgeben können (WAIBL et al., 2005).

A. interossea cranialis

Die A. interossea cranialis entsteht als relativ schwaches Gefäß aus der Teilung der A. interossea communis proximal am Spatium interosseum antebrachii (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Sie zieht sofort durch das Spatium auf die Kranialseite, entlässt dort die **A. recurrens interossea**, die proximal zieht

und sich am **Rete articulare cubiti** beteiligt, und anastomosiert mit dem tiefen Ast der A. transversa cubiti (WAIBL et al., 2005). Sie gibt Zweige an den M. extensor carpi ulnaris (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) sowie die Streckmuskeln der Zehen (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) ab. Laut BEZUIDENHOUT (2013a) versorgt sie zusätzlich die Mm. pronator quadratus, supinator, die Extensoren im proximalen Drittel der Ulna und den kaudolateralen Teil des Ellbogengelenks. Dann verläuft sie weiter distal Richtung Karpus, wobei sie den M. abductor pollicis longus versorgt (WAIBL et al., 2005). Über einen **R. interosseus** verbindet sie sich durch das Spatium interosseum antebrachii hindurch mit der A. interossea caudalis (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Eine weitere Anastomose besteht mit der A. collateralis ulnaris (BEZUIDENHOUT, 2013a). Außerdem kann sie einen **R. carpeus dorsalis** abgeben, der in das **Rete carpi dorsale** übergeht (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Dieser Ramus kann bei Fehlen der A. interossea cranialis im distalen Bereich auch aus dem R. interosseus stammen (WAIBL et al., 2005).

A. interossea caudalis

Die A. interossea caudalis ist wie die A. interossea cranialis eine Fortsetzung der A. interossea communis (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Sie zieht als kräftiges Gefäß an der Kaudalseite der Membrana interossea antebrachii, bedeckt vom M. pronator quadratus, distal in Richtung Karpus (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Dabei versorgt sie nach GILLE (2008) die Beugemuskeln der Zehengelenke, nach BEZUIDENHOUT (2013a) den M. pronator quadratus, das Caput ulnare und radiale des tiefen Zehenbeugers, den gemeinsamen und seitlichen Zehenstrecker sowie die Mm. extensor digiti I et extensor digiti II. Im distalen Bereich des Spatium interosseum antebrachii (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) bzw. in der proximalen Hälfte des Unterarms (BEZUIDENHOUT, 2013a) verbindet sie sich über den **R. interosseus** mit der A. interossea cranialis (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) und gibt Zweige an den M. abductor pollicis longus ab (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Außerdem verzweigt sie sich im Periost der Unterarmknochen (WAIBL et al., 2005). Am Übergang vom proximalen in das mittlere Drittel des Unterarms gibt sie **Aa. nutriciae** für den Radius und die Ulna ab (BEZUIDENHOUT, 2013a). An der Basis des Processus styloideus entlässt sie gemäß BEZUIDENHOUT (2013a) den R. interosseus, der unter dem M. abductor digiti I longus zum Retinaculum extensorum verläuft und über einen **R. carpeus dorsalis** an der Bildung des Rete carpi dorsale beteiligt ist. Nach Abgabe eines **R. carpeus palmaris**

für das palmare Gelenkgeflecht setzt sich die A. interossea caudalis als **R. palmaris** fort (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005), der in der Tiefe medial des Os carpi accessorium über den Karpus zum Mittelfuß zieht, wobei er sich mit der A. ulnaris verbindet (WAIBL et al., 2005). Am Mittelfuß gabelt sich der R. palmaris in einen **R. superficialis** und einen **R. profundus**. Ersterer wird Bestandteil des Arcus palmaris superficialis als Ursprung für die (oberflächlichen) palmaren Zehenarterien, letzterer zusammen mit dem R. profundus der A. radialis Teil des Arcus palmaris profundus als Ursprung für die tiefen palmaren Zehenarterien (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005).

A. ulnaris

Die A. ulnaris entsteht proximal am Unterarm aus der A. interossea communis (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Sie zieht kaudodistal und trifft zwischen Caput humerale des M. flexor digitorum profundus und Ulna auf den N. ulnaris, den sie in der Ulnarisrinne zum Karpus begleitet (WAIBL et al., 2005). Zunächst aber anastomosiert sie über die proximal verlaufende A. recurrens ulnaris mit der A. collateralis ulnaris (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Am Karpus entlässt sie proximal des Os carpi accessorium den **R. dorsalis** sowie den **R. carpeus dorsalis** und den **R. carpeus palmaris**, letztere für das dorsale bzw. palmare Gelenkgeflecht der Pfote, bevor sie in den R. palmaris der A. interossea caudalis eingeht (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Nach BEZUIDENHOUT (2013a) ist sie an der Bildung des palmaren Gelenkgeflechtes nicht beteiligt. Der R. dorsalis zieht über lateral auf die Dorsalseite des Karpus und setzt sich dort als **A. digitalis dorsalis V abaxialis** fort (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Das Versorgungsgebiet am Unterarm sind die Zehenbeuger (GILLE, 2008) bzw. das Caput ulnare und humerale des tiefen Zehenbeugers und die entsprechenden Köpfe des M. flexor carpi ulnaris (BEZUIDENHOUT, 2013a).

A. mediana und ihre Abzweige

A. mediana

Die A. mediana ist die größte Arterie des Unterarms (BEZUIDENHOUT, 2013a). Sie bildet die Fortführung der A. brachialis nach Abzweig der A. interossea communis medial auf Höhe des Ellbogens (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Kurz nach ihrem Ursprung entlässt sie die **A. profunda antebrachii** (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005) und distal der Ansatzstelle des M. pronator teres die **A. radialis** (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Sie zieht im Paket mit der gleichnamigen Vene und dem N. medianus an der kaudomedialen

Seite des Radius, bedeckt vom M. flexor carpi radialis, distal (WAIBL et al., 2005) und vaskularisiert die Beugemuskeln am Unterarm (GILLE, 2008). Am Karpalgelenk zieht sie zwischen der oberflächlichen und der tiefen Beugesehne über die Beugeseite des Gelenks, gibt einen kleinen Ast an den Karpalballen ab (BEZUIDENHOUT, 2013a), um anschließend in den Arcus palmaris superficialis einzugehen, aus dem die oberflächlichen palmaren Zehenarterien hervorgehen (siehe Kapitel 2.3.4.3) (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005).

A. profunda antebrachii

Die A. profunda antebrachii ist der Oberbegriff für eine Gruppe von distal laufenden Muskelästen, die die Karpalgelenks- und Zehengelenksbeuger vaskularisieren (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Sie entstammen i.d.R. mit gemeinsamem Ursprung aus der A. mediana, können jedoch auch z.T. aus der A. brachialis, der A. interossea communis oder A. interossea caudalis stammen (WAIBL et al., 2005). Anastomosen bestehen zur A. recurrens ulnaris und zur A. ulnaris (BEZUIDENHOUT, 2013a).

A. radialis

Die A. radialis verlässt die A. mediana medial im proximalen Drittel des Unterarms und verläuft dann parallel zu ihr an der kaudomedialen Kante des Radius entlang distal (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Die Verhältnisse am Karpus werden von WAIBL et al. (2005), GILLE (2008) und BEZUIDENHOUT (2013a) unterschiedlich beschrieben. Nach WAIBL et al. (2005) und GILLE (2008) gibt die A. radialis kurz oberhalb des Karpus den **R. carpeus dorsalis** zum dorsalen sowie den **R. carpeus palmaris** zum palmaren Gelenkgeflecht ab und zieht am medialen Ansatz des Retinaculum flexorum weiter über den Karpus, um sich im Anschluss in den **R. palmaris profundus** und den **R. palmaris superficialis** zu gabeln. Der R. palmaris profundus macht einen lateral gerichteten Bogen und ist so an der Bildung des Arcus palmaris profundus beteiligt, während der R. palmaris superficialis Teil des Arcus palmaris superficialis wird (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013a) beschreibt die Teilung der A. radialis in die Rr. carpei dorsalis et palmaris als Endaufteilung der Arterie. Der R. carpeus dorsalis versorgt den dorsalen Bereich der Gelenkkapsel, beteiligt sich über einen Ast der A. antebrachialis superficialis cranialis am dorsalen Gelenkgeflecht und setzt sich als **A. digitalis dorsalis I abaxialis** fort. Der R. carpeus palmaris tritt unter dem Retinaculum flexorum hindurch auf die Palmarseite des Metakarpus, wo er zusammen mit dem tiefen Ast der A. interossea caudalis den Arcus palmaris profundus bildet (BEZUIDENHOUT, 2013a).

2.3.4.2 Venen der Vordergliedmaße

Für die venöse Entsorgung existieren an der Vordergliedmaße zwei Venensysteme: ein tiefes und ein oberflächliches. Das tiefe System verhält sich analog zum Arteriensystem (siehe Kapitel 2.3.4.1), das oberflächliche hat keine arterielle Entsprechung (GILLE, 2008; HABERMEHL et al., 2005). Es stellt eine Art Notfallsystem dar, das den ungestörten Blutabfluss auch bei stark angewinkelter Gliedmaße gewährleisten soll (HABERMEHL et al., 2005). Der Blutabfluss aus dem tiefen Venensystem erfolgt beiderseits über die V. subclavia, der aus dem oberflächlichen System über die V. jugularis externa. Beide Gefäße münden in die V. brachiocephalica, die ihrerseits in die V. cava cranialis eingeht (HABERMEHL et al., 2005).

Obwohl der venöse Blutfluss aus der Gliedmaßen spitze in Richtung Rumpf erfolgt, werden die Venen im Folgenden der Einfachheit halber analog zu den Arterien von proximal nach distal beschrieben.

Die V. subclavia verlässt zusammen mit der gleichnamigen Arterie den Brustkorb über die Apertura thoracis cranialis (HABERMEHL et al., 2005), windet sich lateral um die 1. Rippe und geht in die V. axillaris über, die kaudal zieht (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005). Die V. jugularis externa gibt auf Höhe des Brusteingangs zunächst die V. cephalica ab und danach die V. omobrachialis, die ebenfalls in die V. cephalica eingeht (HABERMEHL et al., 2005).

2.3.4.2.1 Tiefes Venensystem

V. axillaris und ihre Abzweige

V. axillaris

Die V. axillaris zieht, nachdem sie die V. subclavia kranial der ersten Rippe verlassen hat, distal der A. axillaris an die Medialfläche des Schultergelenks (HABERMEHL et al., 2005). Dort gibt sie zunächst in ventrolateraler Richtung die **V. thoracica externa** und kurz danach die **V. thoracica lateralis** ab (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005). An den kaudalen Rand des Schulterblatts entlässt die V. axillaris die **V. subscapularis**. Anschließend zieht die V. axillaris distal, gibt unterwegs die doppelt angelegte **V. thoracodorsalis** ab und gelangt an die mediale Seite des Oberarms. Dort entlässt sie auf Höhe des Collum humeri die **V. circumflexa humeri cranialis** und wird zur **V. brachialis** (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005).

V. thoracica externa

Die V. thoracica externa verlässt die V. axillaris auf Höhe der 1. Rippe und vaskularisiert hauptsächlich die Pektoralismuskulatur (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005). Dabei verläuft ein Ast zwischen dem oberflächlichen und dem tiefen Brustmuskel. Ein weiterer Ast, der medial am tiefen Brustmuskel entlang zieht, entstammt direkt der V. axillaris (HABERMEHL et al., 2005).

V. thoracica lateralis

Die V. thoracica lateralis verlässt die V. axillaris kurz nach Abgang der V. thoracica externa. Sie zieht im Winkel zwischen M. pectoralis profundus und M. latissimus dorsi an der seitlichen Brustwand kaudal (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005). Dabei verläuft sie in enger Nachbarschaft zu den Achsellymphknoten (BUDRAS, 2012). Beim weiblichen Tier vaskularisiert sie die vorderen beiden Gesäugekomplexe (HABERMEHL et al., 2005).

V. subscapularis

Die V. subscapularis entspringt aus der V. axillaris auf Höhe des Schultergelenks, bevor letztere nach distal abbiegt, und gibt sogleich die **V. circumflexa humeri caudalis** ab (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005), selten auch zuvor die **V. circumflexa humeri cranialis** (HABERMEHL et al., 2005). Manchmal entspringt ihr auch die **V. thoracodorsalis** (s.u.) (HABERMEHL et al., 2005). Dann zieht sie zwischen den Mm. subscapularis und teres major an die Medialfläche des Caput longum des M. triceps brachii und weiter am Kaudalrand der Scapula entlang proximal. Auf Höhe des For. nutricium scapulae gibt sie die **V. circumflexa scapulae** ab, die ein nutritives Gefäß an die Scapula entlässt und sich sodann in einen lateralen und einen medialen Zweig aufteilt, die die Muskeln auf der Lateral- und der Medialseite des Schulterblatts vaskularisieren (HABERMEHL et al., 2005). Die V. subscapularis selbst verzweigt sich in diverse Muskeläste, die zusammen mit der V. circumflexa scapulae das Caput longum des M. triceps brachii, den M. tensor fasciae antebrachii und die Muskeln des Schultergelenks vaskularisieren. Außerdem beteiligen sich diese Muskeläste an der Bildung von Gefäßnetzen auf beiden Seiten des Schulterblatts (HABERMEHL et al., 2005).

V. circumflexa humeri caudalis

Die V. circumflexa humeri caudalis verlässt die V. subscapularis auf Höhe des Schultergelenks. Sie gibt die **V. collateralis radialis** ab (HABERMEHL et al., 2005). Die Vene selbst verbindet sich um das Collum humeri herum mit der V. circumflexa

humeri cranialis und entsorgt benachbarte Muskeln sowie das Schultergelenk (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005).

V. circumflexa humeri cranialis

Die V. circumflexa humeri cranialis entstammt i.d.R. der V. axillaris, in seltenen Fällen entspringt sie der V. subscapularis (HABERMEHL et al., 2005). Ihr Versorgungsgebiet sind die Mm. biceps brachii (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005), coracobrachialis, pectoralis profundus, triceps brachii sowie der Humerus (HABERMEHL et al., 2005). Um diesen herum verläuft die Vene in kraniomedialer Richtung und verbindet sich mit der V. circumflexa humeri caudalis (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005).

V. thoracodorsalis

Der Ursprung der V. thoracodorsalis liegt in der V. axillaris, in seltenen Fällen entspringt sie der V. subscapularis. Sie gibt Zweige an die Mm. teres major und pectoralis profundus ab und zieht, dem Faserverlauf des M. latissimus dorsi folgend und sich darin verzweigend, kaudal. Im Bereich der Fascia lumbodorsalis gelangt sie an die Haut (HABERMEHL et al., 2005).

V. collateralis radialis

Die V. collateralis radialis wird von der V. circumflexa humeri caudalis abgegeben. Sie zieht zusammen mit der gleichnamigen Arterie und dem N. radialis distal und gibt Äste an die Muskeln des Ellbogengelenks sowie an die Streckmuskeln des Karpalgelenks und der Zehengelenke ab. Beim Übertritt in das distale Drittel des Humerus gibt sie die **V. collateralis media** ab, die an das Olekranon zieht, dabei Äste für die Streckmuskeln des Ellbogengelenks entlässt und an der Bildung des **Rete articulare cubiti** beteiligt ist. Die V. collateralis radialis hat Verbindung zur V. cephalica (HABERMEHL et al., 2005).

V. cervicalis superficialis

Die V. cervicalis superficialis entstammt der V. jugularis externa. Sie verlässt diese Vene auf Höhe des Brusteingangs und zieht dorsal. Dabei gibt sie oberhalb des Schultergelenks den proximal gerichteten **R. ascendens** ab, der medial des M. cleidocephalicus verläuft. Weiter entlässt sie die **V. suprascapularis** in Richtung der Incisura scapulae und den **R. acromialis** in Richtung Fossa supraspinata. Letzterer zieht in den M. supraspinatus und weiter distal vom Acromion in den M. infraspinatus, wo er sich mit Nachbargefäßen verbindet. Die V. cervicalis superficialis wird am kranialen Rand des M. supraspinatus zum **R. praescapularis**, der Äste an den Buglymphknoten sowie medial an den M. omotransversarius und die

Pars cervicalis des M. trapezius entlässt. Am Halswinkel des Schulterblatts verbindet er sich mit Ästen der V. scapularis dorsalis bzw. der V. cervicalis profunda (HABERMEHL et al., 2005).

V. suprascapularis

Die V. suprascapularis hat ihren Ursprung in der V. cervicalis superficialis in Höhe des Schultergelenks. Sie entlässt an die Medialseite des Schulterblatts kräftige Zweige, die sich mit solchen der V. subscapularis, insbesondere der V. circumflexa scapulae, sowie mit Segmentalgefäßen aus dem Bereich des Schultergürtels netzartig verbinden und die Mm. subscapularis und serratus ventralis vaskularisieren. Ein Ast geht an den Rand des Schulterblatts und entsorgt, dorsal aufsteigend, die benachbarten Muskeln. Ein weiterer Ast zieht über die Inc. scapulae auf die Lateralseite und verbindet sich mit dem R. acromialis aus der V. cervicalis superficialis. Die Vene selbst tritt zwischen die Mm. subscapularis und supraspinatus, in denen sie sich verzweigt (HABERMEHL et al., 2005).

V. brachialis und ihre Abzweige

V. brachialis

Die V. brachialis ist die Fortsetzung der V. axillaris nach Abgabe der V. circumflexa humeri cranialis im Bereich des Schultergelenks. Häufig ist sie doppelt ausgebildet. Die Vene zieht schräg über die Medialseite des Humerus zum Ellbogengelenk und quert dabei den M. pronator teres. In diesem Verlauf gibt sie die **Vv. profunda brachii, bicipitalis, collateralis ulnaris, brachialis superficialis** und **transversa cubiti** ab (HABERMEHL et al., 2005). Als letzte Vene entlässt die V. brachialis proximal am Spatium interosseum antebrachii die **V. interossea communis** und setzt sich als V. mediana fort (BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005).

V. bicipitalis

Die V. bicipitalis verlässt die V. brachialis im distalen Drittel des Oberarms. Kranioproximal gerichtet entsorgt sie den M. biceps brachii (HABERMEHL et al., 2005).

V. profunda brachii

Die V. profunda brachii verlässt die V. brachialis etwa in der Mitte des Oberarms. Kaudal gerichtet entsorgt sie vornehmlich den M. triceps brachii (HABERMEHL et al., 2005).

V. collateralis ulnaris

Die V. collateralis ulnaris hat ihren Ursprung aus der V. brachialis proximal der Fossa olecrani. Sie zieht in kaudodistaler Richtung über die Medialseite des Olekranons und gibt dabei Zweige an das Ellbogengelenk, dessen Streckmuskeln sowie an die Beugemuskeln von Karpalgelenk und Zehengelenken ab. Auf Höhe des Ellbogengelenks anastomosiert sie mit der V. recurrens ulnaris und manchmal auch mit der V. collateralis media. Im weiteren Verlauf zieht sie mit dem N. ulnaris in der Ulnarisrinne distal und mündet in die V. ulnaris ein (HABERMEHL et al., 2005).

V. brachialis superficialis

Der Verlauf der V. brachialis superficialis entspricht dem der gleichnamigen Arterie (siehe Seite 83). Sie entsorgt die Mm. biceps brachii, brachioradialis und extensor carpi radialis und gibt **Vv. radiales superficiales** ab. Die **V. mediana cubiti** geht in ihr auf (HABERMEHL et al., 2005).

V. transversa cubiti

Die V. transversa cubiti verlässt die V. brachialis in der Ellenbogengelenksbeuge und zieht nach lateral, wo sie Muskeläste an die Beuger des Ellbogengelenks sowie Strecker des Karpalgelenks und der Zehengelenke abgibt. Sie bzw. ihre Äste anastomosieren mit fast allen benachbarten Venen rund um das Ellbogengelenk (HABERMEHL et al., 2005).

V. interossea communis

Die V. interossea communis verlässt die V. brachialis proximal am Spatium interosseum antebrachii in kaudaler Richtung, entlässt sofort die **V. ulnaris** und gabelt sich im Anschluss in die **Vv. interossee cranialis et caudalis** (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005).

V. interossea cranialis

Die V. interossea cranialis verläuft auf der Kranialseite des Unterarms in der Vertiefung zwischen Elle und Speiche distal und gibt dabei proximal die **V. recurrens interossea** als Verbindung zur V. collateralis media bzw. zum Rete articulare cubiti sowie Äste an die Strecker von Karpal- und Zehengelenken ab. Weiter distal entlässt sie den **R. carpeus dorsalis** für das Rete carpi dorsale. Durch das Spatium interosseum ist die V. interossea cranialis über den **R. interosseus** mit der V. interossea caudalis verbunden (HABERMEHL et al., 2005).

V. interossea caudalis

Die V. interossea caudalis ist beim Hund stärker als die V. interossea cranialis. Sie verläuft auf der Kaudalseite des Unterarms in der Vertiefung zwischen Elle und

Speiche distal. Über den R. interosseus ist sie im distalen Bereich des Unterarms durch das Spatium interosseum mit der V. interossea cranialis verbunden. Weiterhin bestehen Verbindungen zur V. radialis und zur V. cephalica. Auf der Beugeseite des Karpalgelenks entlässt die V. interossea caudalis den **R. carpeus palmaris** und zieht selbst als **R. palmaris** medial des Os carpi accessorium über das Karpalgelenk. Dabei nimmt er die V. ulnaris auf. Proximal am Metakarpus gabelt er sich in die **Rr. superficialis et profundus**, die an der Bildung des Arcus palmaris superficialis bzw. profundus beteiligt sind (HABERMEHL et al., 2005).

V. ulnaris

Die V. ulnaris entstammt beim Hund der V. interossea communis (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005) oder der V. brachialis (BEZUIDENHOUT, 2013c). Gleich nach ihrem Ursprung entlässt sie die **V. recurrens ulnaris**, die, proximal gerichtet, mit der V. collateralis ulnaris anastomosiert (HABERMEHL et al., 2005). Die V. ulnaris selbst zieht parallel zur gleichnamigen Arterie in der Ulnarisrinne distal und beteiligt sich an der Entsorgung des M. flexor digitorum profundus (HABERMEHL et al., 2005) und der übrigen kaudalen Unterarmmuskeln (BEZUIDENHOUT, 2013c). Auf Höhe des Karpus gibt sie den **R. dorsalis** ab, welcher seinerseits den **R. carpeus dorsalis** entlässt (HABERMEHL et al., 2005), um im Anschluss in den R. palmaris der V. interossea caudalis (s.o.) einzugehen (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005).

V. mediana

Die V. mediana stellt die Fortsetzung der V. brachialis dar, nachdem diese die V. interossea communis abgegeben hat. Sie zieht im Bündel zusammen mit der A. mediana und dem N. medianus distal, liegt dabei zunächst subfascial medial am Radius und später auf Höhe des Karpus medial an den langen Zehenbeugern (HABERMEHL et al., 2005). Proximal am Unterarm entlässt sie Muskeläste, die trotz oft fehlenden gemeinsamen Ursprungs als **V. profunda antebrachii** zusammengefasst werden und die Beugemuskeln von Karpal- und Zehengelenken entsorgen (HABERMEHL et al., 2005). Die V. profunda antebrachii kann auch aus der V. brachialis hervorgehen (HABERMEHL et al., 2005). Weiter distal entlässt die V. mediana die **V. radialis** und wird am Metakarpus Bestandteil des Arcus palmaris superficialis (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005).

V. radialis

Die oft doppelte V. radialis verlässt die V. mediana auf Höhe des Ansatzes des M. pronator teres und zieht mit der gleichnamigen Arterie distal, wo sie sich auf Höhe

des Karpus mit der V. cephalica und der V. interossea caudalis verbindet (HABERMEHL et al., 2005). Im Anschluss gibt sie die **Rr. carpei palmaris et dorsalis** für das palmare und das dorsale Gelenkgeflecht ab (HABERMEHL et al., 2005). Unterhalb des Karpus gabelt sich die V. radialis in den **R. palmaris profundus**, der an der Bildung des Arcus palmaris profundus beteiligt ist, und den **R. palmaris superficialis**, der sich nach Aufnahme des Endabschnitts der V. cephalica oberhalb der Zehengrundgelenke, palmar der Beugesehnen, mit dem R. superficialis des R. palmaris aus der V. interossea caudalis zum Arcus palmaris superficialis verbindet (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Beim Hund gibt es einen zweiten Arcus palmaris superficialis proximal am Metakarpus, in den die V. mediana einmündet (HABERMEHL et al., 2005).

2.3.4.2.2 Oberflächliches Venensystem

V. cephalica

Die V. cephalica entspringt zweifach aus der V. jugularis externa: einmal direkt und einmal über die weiter kopfwärts abzweigende **V. omobrachialis** (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Letztere zieht kaudoventral über den M. cleidocephalicus und geht häufig zusätzlich eine Verbindung mit der V. axillobrachialis ein (HABERMEHL et al., 2005). BUDRAS (2012) und BEZUIDENHOUT (2013c) beschreiben die Verhältnisse so, dass die V. omobrachialis zunächst in die V. axillobrachialis eingeht, welche sich dann mit der V. cephalica verbindet. Weiterhin existiert eine zusätzliche als **V. axillobrachialis** bezeichnete Verbindung über lateral zwischen der V. cephalica und der V. circumflexa humeri caudalis (GILLE, 2008; HABERMEHL et al., 2005). Die V. axillobrachialis kann laut BUDRAS (2012) und BEZUIDENHOUT (2013c) auch aus der V. axillaris entstammen. Die V. cephalica zieht, zunächst vom M. cleidocephalicus bedeckt, zur Beugeseite des Ellbogengelenks, wo sie die **V. mediana cubiti** entlässt, die sich medial mit der V. brachialis verbindet (BEZUIDENHOUT, 2013c; BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005). Am Unterarm zieht die Vene subkutan medial vom M. extensor carpi radialis distal, wobei sie diverse Haut- und Muskeläste sowie im distalen Drittel die **V. cephalica accessoria** entlässt (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). In diesem Verlauf wird sie von den Rr. lateralis et medialis des R. superficialis des N. radialis sowie von der A. antebrachialis superficialis cranialis begleitet (BEZUIDENHOUT, 2013c; BUDRAS, 2012). Kurz vor Erreichen des Karpus anastomosiert sie mit der V. radialis (s.o.) und ist zusammen mit dieser an der

Bildung des proximalen palmaren Gefäßbogens beteiligt (HABERMEHL et al., 2005). Laut BEZUIDENHOUT (2013c) endet die V. cephalica hier. Nach HABERMEHL et al. (2005) jedoch verläuft sie weiter parallel der V. radialis und vereinigt sich erst am Metakarpus mit deren R. palmaris superficialis zur Bildung des distalen palmaren Gefäßbogens (HABERMEHL et al., 2005).

Die V. cephalica ist durch ihren oberflächlichen Verlauf prädestiniert für Blutentnahmen, i.v.-Injektionen und das Legen von Venenverweilkathetern (BEZUIDENHOUT, 2013c; BUDRAS, 2012; GILLE, 2008).

V. mediana cubiti

Die V. mediana cubiti verbindet die oberflächliche V. cephalica über die V. brachialis superficialis mit der tiefen V. brachialis. Diese Verbindung befindet sich etwa auf Höhe des Ellbogengelenks auf dessen Beugeseite (BEZUIDENHOUT, 2013c; BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005).

V. cephalica accessoria

Die V. cephalica accessoria wird von der V. cephalica etwa am Übergang zum distalen Drittel des Unterarms entlassen und verläuft auf der Kranialseite des Unterarms subkutan Richtung Karpus (BEZUIDENHOUT, 2013c; BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005). Dort entlässt sie Zweige für das dorsale Gelenkgeflecht (Rete carpi dorsalis) (HABERMEHL et al., 2005) und geht in die dorsalen gemeinsamen Zehenvenen über (BEZUIDENHOUT, 2013c; BUDRAS, 2012; HABERMEHL et al., 2005).

2.3.4.3 Blutgefäße am Fuß

Allgemeines

Die im Folgenden aufgeführten allgemeinen Regeln für die Blutversorgung am Vorderfuß sind den ausführlichen Beschreibungen in WAIBL et al. (2005), BEZUIDENHOUT (2013a) und BEZUIDENHOUT (2013c) entnommen. In kompakter Form sind sie außerdem bei GILLE (2008) zu finden.

Die Blutversorgung des Metakarpus erfolgt sowohl dorsal als auch palmar über tiefe und oberflächliche Arterien und Venen (gemeinsame Zehengefäße), von denen pro Gruppe jeweils vier Stück ausgebildet sind. Die allgemeine Nomenklatur für diese gemeinsamen Zehengefäße ist **A./V. digitalis dorsalis/palmaris communis** für die oberflächlichen und **A./V. metacarpea dorsalis/palmaris** für die tiefen Gefäße (BEZUIDENHOUT, 2013a; c; WAIBL et al., 2005). Dabei werden die einzelnen Arterien und Venen mit einer römischen Ziffer von medial nach lateral

durchnummeriert (Bsp. A. digitalis dorsalis communis III) (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Abgesehen von den oberflächlichen dorsalen Gefäßen, die sich direkt aus den zuführenden Gefäßen fortsetzen, entstammen die gemeinsamen Zehengefäße besonderen Strukturen, die von den vom Unterarm kommenden Gefäßen gebildet werden. Auf der palmaren Seite sind dies im Bogen quer über den proximalen Mittelfuß verlaufende Anastomosen, der **Arcus palmaris profundus**, aus dem die tiefen Zehengefäße entspringen, und der **Arcus palmaris superficialis**, dem die oberflächlichen Zehengefäße entstammen. Auf der dorsalen Seite bilden die vom Unterarm kommenden tiefen Gefäße über dem Karpus ein Netz, das **Rete carpi dorsale**, das die tiefen Zehengefäße entlässt (WAIBL et al., 2005). Die einzelnen tiefen palmaren und dorsalen Metakarpalgefäße sind jeweils über einen **R. perforans proximalis** und einen **R. perforans distalis** zwischen den Metakarpalknochen hindurch miteinander verbunden. Die Rr. perforantes erhalten zur Kennzeichnung dieselbe Ziffer wie die beiden jeweiligen Gefäße, die sie verbinden. Im distalen Bereich der Metakarpalknochen verbinden sich die tiefen mit den oberflächlichen gemeinsamen Zehengefäßen (BEZUIDENHOUT, 2013a; c; WAIBL et al., 2005). Distal der Zehengrundgelenke teilen sich die gemeinsamen Zehengefäße in jeweils zwei besondere Zehengefäße, **Aa./Vv. digitales propriae**, für die beiden Zehen, zwischen denen das gemeinsame Zehengefäß verläuft (BEZUIDENHOUT, 2013a; c; WAIBL et al., 2005). In Abhängigkeit von ihrer Lage zur Fußachse, die beim Hund zwischen der 3. und der 4. Zehe verläuft, bekommen die besonderen Zehengefäße den Zusatz axialis oder abaxialis und eine römische Ziffer, die für die zugehörige Zehe steht (z.B. A./V. digitalis palmaris propria III axialis) (BEZUIDENHOUT, 2013a; c; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Die abaxialen Arterien und Venen der 1. und 5. Zehe entstehen nicht aus gemeinsamen Zehengefäßen und erhalten daher nicht den Zusatz propria (Bsp. A./V. digitalis dorsalis V abaxialis) (WAIBL et al., 2005). Kurz vor ihrer Teilung verbinden sich die palmaren gemeinsamen Zehengefäße über den Interdigitalspalt hinweg mit den entsprechenden dorsalen Gefäßen (BEZUIDENHOUT, 2013a; c; WAIBL et al., 2005). Die verbindenden Gefäße heißen **Aa./Vv. interdigtales I-IV** (WAIBL et al., 2005). Auch die besonderen Zehengefäße der Palmarseite sind mit ihren Gegenstücken auf der Dorsalseite verbunden, und zwar über **Rr. dorsales phalangum proximalium, mediarum et distalium** (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005), die jeweils etwa in der Mitte einer jeden Phalanx zu finden sind (WAIBL et al., 2005). Auf gleicher Höhe geben die palmaren Gefäße **Rr. palmares phalangum**

proximalium, mediarum et distalium ab, die sich miteinander verbinden und zusätzlich Äste für die Zehenballen, **Rr. tori digitales**, abgeben (WAIBL et al., 2005).

Palmare Arterien

Die tiefen palmaren Arterien am Vorderfuß des Hundes entstammen dem R. palmaris profundus der A. radialis, dem R. profundus des R. palmaris der A. interossea caudalis (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) sowie einem Ast der A. ulnaris (GILLE, 2008). Diese Gefäße verbinden sich auf der Palmarseite des Metakarpus zu einem transversal verlaufenden Bogen, dem **Arcus palmaris profundus**. Diesem entspringen die **Aa. metacarpeae palmares I-IV**, die in den Vertiefungen zwischen den Metakarpalknochen in Richtung Zehen verlaufen (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) und die Mm. interossei sowie die Metakarpalknochen II-V versorgen (BEZUIDENHOUT, 2013a). Über **Rr. perforantes proximales et distales** sind sie mit den entsprechenden dorsalen Metakarpalarterien verbunden (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005). Am distalen Metakarpus enden die tiefen palmaren Arterien durch Vereinigung mit den oberflächlichen Arterien, **Aa. digitales palmares communes I-IV** (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Letztere entstehen aus dem **Arcus palmaris superficialis**, der wiederum vom R. palmaris superficialis der A. radialis und dem R. superficialis des R. palmaris der A. interossea caudalis mit Beteiligung der A. mediana, die direkt in den Arcus einmündet, gebildet wird (WAIBL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013a) hebt die Beteiligung der A. mediana an der Bildung des Gefäßbogens besonders hervor, während er der A. interossea caudalis nur geringe Bedeutung zumisst und die A. radialis gar nicht erwähnt. Nach GILLE (2008) ist an der Bildung des Arcus palmaris superficialis anstelle der A. radialis die A. ulnaris beteiligt. Neben den oben genannten Arterien entlässt der Arcus palmaris superficialis noch die **A. digitalis palmaris V abaxialis** (WAIBL et al., 2005) die gemäß BEZUIDENHOUT (2013a) auch direkt aus der A. interossea caudalis distal des Gefäßbogens hervorgehen kann. Die gemeinsamen Zehenarterien der 2. bis 4. Zehe versorgen den Metakarpalballen (BEZUIDENHOUT, 2013a). Die Aa. digitales palmares communes I-IV teilen sich sämtlich in besondere Zehenarterien, **Aa. digitales palmares propriae**, welche unter Abgabe der unter dem Punkt Allgemeines beschriebenen Rami (siehe Seite 96) zu den Zehenspitzen ziehen und dabei sämtliche Strukturen der Zehen versorgen (WAIBL et al., 2005). Sie stellen die Hauptblutversorgung der Zehen dar (BEZUIDENHOUT, 2013a). An den distalen Enden der Phalanges distales anastomosieren die besonderen axialen und

abaxialen Zehenarterien zu **Arcus terminales**, die die Krallenlederhaut und den Zehenknochen versorgen (BEZUIDENHOUT, 2013a).

Dorsale Arterien

Die tiefen dorsalen Arterien des Vorderfußes entstammen den jeweiligen Rr. carpei dorsales der A. radialis, der A. ulnaris, des R. interosseus der A. interossea caudalis (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) sowie einem Ast der A. interossea cranialis (GILLE, 2008). Die genannten Gefäße anastomosieren netzartig auf Höhe des Karpus und bilden so das dorsale Gelenkgeflecht, **Rete carpi dorsale**, aus dem die **Aa. metacarpeae dorsales I-IV** (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) bzw. **Aa. metacarpeae dorsales II-IV** (BEZUIDENHOUT, 2013a) hervorgehen. Diese sind über Rr. perforantes proximales und distales mit den zugehörigen tiefen palmaren Arterien verbunden (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005).

Bis auf die **A. digitalis dorsalis V abaxialis**, die aus dem R. dorsalis der A. ulnaris hervorgeht (BEZUIDENHOUT, 2013a; WAIBL et al., 2005), entstammen die oberflächlichen gemeinsamen Zehenarterien sämtlich der A. antebrachialis superficialis cranialis, und zwar die **A. digitalis dorsalis communis I** deren medialem Ast und die **Aa. digitales dorsales communes II-IV** deren lateralem Ast (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Sie verbinden sich im distalen Bereich der Metakarpalknochen mit den tiefen gemeinsamen Zehenarterien und teilen sich anschließend regelmäßig in die **Aa. digitales dorsales propriae** (BEZUIDENHOUT, 2013a; GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005). Die A. digitalis dorsalis communis I anastomosiert mit der entsprechenden palmaren Arterie (BEZUIDENHOUT, 2013a).

Palmare Venen

Der **Arcus palmaris profundus** entsteht beim Hund aus der Vereinigung des R. palmaris profundus aus der V. radialis und des R. profundus des R. palmaris aus der V. interossea caudalis (HABERMEHL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013c) beschreibt zusätzlich eine Beteiligung der V. ulnaris. Er befindet sich im Ursprungsbereich der Mm. interossei (BEZUIDENHOUT, 2013c). Dieser Bogen entlässt nach distal die **Vv. metacarpeae palmares I-IV** (HABERMEHL et al., 2005) bzw. **II-IV** (BEZUIDENHOUT, 2013c), die wie auch die tiefen Arterien (s.o.) über **Rr. perforantes proximales et distales** mit den dorsalen Metakarpalvenen verbunden sind (HABERMEHL et al., 2005). Im distalen Bereich des Metakarpus anastomosieren die Metakarpalvenen bogenförmig zum Arcus palmaris profundus distalis und verbinden sich anschließend mit den entsprechenden oberflächlichen gemeinsamen Zehenvenen (HABERMEHL et al., 2005). BEZUIDENHOUT (2013c)

beschreibt stattdessen einen zweiten venösen Bogen, der, von denselben Venen gebildet wie der erste, oberflächlich distal des Karpalballens zu finden ist. Die Metakarpalvenen enden nach den Angaben von BEZUIDENHOUT (2013c) im Arcus palmaris superficialis.

Der **Arcus palmaris superficialis** wird vom R. palmaris superficialis der V. radialis, nach Aufnahme der V. cephalica und vom R. superficialis des R. palmaris aus der V. interossea caudalis (HABERMEHL et al., 2005) bzw. der V. metacarpea palmaris IV (BEZUIDENHOUT, 2013c) (die eine Fortsetzung des o.g. Ramus ist) gebildet. Er befindet sich im distalen Bereich des Mittelfußes palmar des Beugesehnenpaketes und des Metakarpalballens (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Auf halber Höhe des Mittelfußes liegt beim Hund parallel zum arteriellen Arcus palmaris superficialis und z.T. zwischen den Schenkeln der Beugesehnen ein weiterer Bogen, der ebenfalls von den beiden oben genannten Rr. palmares superficiales und der V. mediana gebildet wird (HABERMEHL et al., 2005). Der Arcus palmaris superficialis entlässt die **Vv. digitales palmares communes I-IV** (HABERMEHL et al., 2005) bzw. **II-IV** (BEZUIDENHOUT, 2013c), die sich, nach Verbindung mit der jeweils gleichzähligen tiefen palmaren Vene, in die **Vv. digitales palmares propriae** aufgabeln. In diesem Bereich sind die gemeinsamen palmaren Zehenvenen über **Vv. interdigitales** mit den entsprechenden dorsalen gemeinsamen Zehenvenen oder auch mit einer besonderen dorsalen Zehenvene verbunden (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Vereinzelt gehen Vv. digitales palmares propriae direkt aus dem Arcus palmaris superficialis hervor (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Die **V. digitalis palmaris I abaxialis** entstammt der V. cephalica kurz vor deren Vereinigung mit dem R. palmaris superficialis der V. radialis (HABERMEHL et al., 2005).

Dorsale Venen

Das relativ schwach ausgebildete dorsale Gelenkgeflecht, **Rete carpi dorsale**, setzt sich zusammen aus Verbindungen der Rr. carpei dorsales der V. radialis, der V. cephalica accessoria, der V. interossea cranialis (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005) sowie laut HABERMEHL et al. (2005) zusätzlich der V. cephalica und der V. ulnaris. Aus diesem Geflecht entspringen die **Vv. metacarpeae dorsales I-IV**, die als feine Gefäße zwischen den Metakarpalknochen verlaufen und am Übergang zum distalen Drittel des Metakarpus von den gleichzähligen oberflächlichen Zehenvenen aufgenommen werden (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Letztere entstammen der V. cephalica accessoria (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Diese

entlässt am distalen Unterarm einen medialen Ast, der zusammen mit einem medialen Ast der A. antebrachialis superficialis cranialis distal zieht und zur **V. digitalis dorsalis communis I** wird (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Die V. cephalica accessoria zieht medial der A. antebrachialis superficialis cranialis über den Karpus und verzweigt sich etwa in der Mitte des Metakarpus in die **Vv. digitales dorsales communes II-IV** (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005). Wenig distal des Karpus entlässt die V. cephalica accessoria laut HABERMEHL et al. (2005) die **V. digitalis dorsalis V abaxialis**, die zusätzlich eine Verbindung zum R. dorsalis der V. ulnaris besitzt, von BEZUIDENHOUT (2013c) jedoch überhaupt nicht erwähnt wird. Zwischen dem oben beschriebenen Medialast der V. cephalica accessoria und der V. digitalis dorsalis communis II besteht eine bogenförmige Anastomose (BEZUIDENHOUT, 2013c; HABERMEHL et al., 2005), die HABERMEHL et al. (2005) als einen angedeuteten Arcus dorsalis superficialis bezeichnet. Die Vv. digitales dorsales communes II-V verzweigen sich in axiale und abaxiale **Vv. digitales dorsales propriae**, die dorsal an den Zehen entlang laufen, dabei Verbindungsäste von den entsprechenden palmaren Venen erhalten und an den Zehenspitzen mit den Enden der palmaren besonderen Zehenvenen zu Arcus venosus digitales anastomosieren, die das Blut von den Zehenballen und der Krallenlederhaut sammeln (BEZUIDENHOUT, 2013c).

2.3.4.4 Lymphgefäße der Vordergliedmaße

Der Lymphabfluss aus der Vordergliedmaße erfolgt über zwei Lymphocentren: das **Lc. cervicale superficiale** sammelt die Lymphe aus den oberflächlichen Lymphgefäßen, das **Lc. axillare** die aus den tiefen Gefäßen (BUDRAS, 2012; GILLE, 2008; KÖNIG et al., 2012a; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005).

Das Lc. cervicale superficiale besteht beim Hund aus einem einzigen Lymphknoten, dem **Ln. cervicalis superficialis**, auch Buglymphknoten genannt (GILLE, 2008; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). BEZUIDENHOUT (2013b) spricht von i.d.R. zwei Knoten mit Varianz zwischen ein und vier Knoten. Er sitzt kraniodorsal vor dem Schultergelenk unter dem M. brachiocephalicus und M. omotransversarius vor dem Kranialrand des M. supraspinatus und ist regelmäßig tastbar (BEZUIDENHOUT, 2013b; GILLE, 2008; KÖNIG et al., 2012a; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Über sein tributäres Gebiet aus dem Bereich der Schultergliedmaße gehen die Angaben der verschiedenen Autoren auseinander. Nach VOLLMERHAUS und ROOS (2005) umfasst es die Haut seitlich an Schulter und Oberarm, medial am Oberarm, an der Vorbrust und der kranialen Brustbeingegegend, einzelne Muskeln des Schultergürtels

und Schultergelenks, alle Knochen der Schultergliedmaße sowie alle Gelenke der Pfote. KÖNIG et al. (2012a) nennen als tributäres Gebiet den proximalen Teil der Vordergliedmaße, GILLE (2008) den Schultergürtel und den distal des Ellbogengelenks gelegenen Teil der Vordergliedmaße, BEZUIDENHOUT (2013b) die gesamte Vordergliedmaße mit Ausnahme eines variablen Bereichs medial an Arm und Unterarm, die Schulter und die Vorderbrust. Der Lymphabfluss erfolgt laut KÖNIG et al. (2012a) zunächst über die kaudalen tiefen Halslymphknoten, welcher von GILLE (2008) aber nur dem Pferd zugerechnet wird. Im weiteren fließt die Lymphe auf der linken Seite entweder in den Ductus thoracicus (BEZUIDENHOUT, 2013b; KÖNIG et al., 2012a; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005), in den Truncus jugularis sinister oder direkt in die V. jugularis externa (BEZUIDENHOUT, 2013b; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Auf der rechten Seite vereinigt sich das von der Gliedmaße kommende Lymphgefäß mit dem Truncus jugularis zum **Ductus lymphaticus dexter** welcher in den Venenwinkel mündet (BEZUIDENHOUT, 2013b; KÖNIG et al., 2012a; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Der Abfluss kann auch direkt in die Vene erfolgen (BEZUIDENHOUT, 2013b; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005).

Das Lymphocentrum axillare umfasst beim Hund den stets vorhandenen **Ln. axillaris proprius** und den nicht konstant vorkommenden **Ln. axillaris accessorius** (BEZUIDENHOUT, 2013b; BUDRAS, 2012; GILLE, 2008; KÖNIG et al., 2012a; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Im klinischen Sprachgebrauch werden die beiden Lymphknoten zusammen als Achsellymphknoten bzw. **Lnn. axillares** angesprochen (GILLE, 2008; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Der diskusförmige Ln. axillaris proprius sitzt kaudal (BEZUIDENHOUT, 2013b; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005) bzw. medial (KÖNIG et al., 2012a) des Schultergelenks an der Abzweigung der A. subscapularis aus der A. axillaris und ist immer über dem 1. Interkostalraum oder der 2. Rippe tastbar (BEZUIDENHOUT, 2013b; GILLE, 2008; KÖNIG et al., 2012a; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Seine Größe ist sehr variabel und wird mit 3-50 x 2-50 x 2-17 mm (VOLLMERHAUS et al., 1994) bzw. mit durchschnittlich 2 cm bei einer Varianz von 3-50 mm (BEZUIDENHOUT, 2013b) angegeben. VOLLMERHAUS und ROOS (2005) und GILLE (2008) sprechen von mehreren Lnn. axillares proprii, GILLE (2008) auch von mehreren Lnn. axillares accessorii. Der Ln. axillaris accessorius befindet sich seitlich auf Höhe der 3. oder 4. Rippe zwischen den Rändern der Mm. latissimus dorsi und pectoralis profundus (BEZUIDENHOUT, 2013b; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Er ist ebenfalls tastbar (GILLE, 2008; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Das tributäre Gebiet des

Lc. axillare erstreckt sich auf die tiefen Bereiche proximal des Ellbogengelenks (GILLE, 2008) bzw. der gesamten Schultergliedmaße (BEZUIDENHOUT, 2013b; KÖNIG et al., 2012a; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005) mit Ausnahme der Zehenknochen und -gelenke (VOLLMERHAUS und ROOS, 2005) auf oberflächliche Bereiche von Vor- und Unterbrust (BEZUIDENHOUT, 2013b; GILLE, 2008; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005), dorsaler Brustwand (BEZUIDENHOUT, 2013b; GILLE, 2008; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005), ventraler Bauchwand (BEZUIDENHOUT, 2013b; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005) sowie der vorderen zwei (GILLE, 2008) bzw. drei (BEZUIDENHOUT, 2013b; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005) Gesäugekomplexe. Der Lymphabfluss erfolgt in einer Lymphknotenkette von kaudal nach kranial, d.h. die Lymphe vom Ln. axillaris accessorius passiert zunächst den Ln. axillaris proprius (GILLE, 2008; VOLLMERHAUS und ROOS, 2005). Der weitere Abfluss entspricht dem des Lc. cervicale superficiale.

2.3.5 Nervensystem

2.3.5.1 Allgemeines

Die Innervation der Vordergliedmaße inklusive der Schultergürtelmuskulatur wird fast ausschließlich von Spinalnerven-Ventralästen aus dem Bereich der hinteren Hals- und der vorderen Brustwirbelsäule übernommen. Nur die Mm. trapezius, sternocephalicus und cleidocephalicus werden vom **N. accessorius**, dem XI. Gehirnnerven, innerviert.

Der Hund besitzt 8 Halsnerven, **Nn. cervicales (C1-C8)**, und 13 Brustnerven, **Nn. thoracici (Th1-Th13)** (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Die Benennung der Halsnerven erfolgt mit Ausnahme von C1 nach dem Wirbel, vor dem der Nerv den Wirbelkanal durch das Foramen intervertebrale verlässt (KÖNIG et al., 2012b), bei den Brustnerven ist es der Wirbel, hinter dem der Nerv aus dem Wirbelkanal austritt (NICKEL et al., 2004a): so tritt der 2. Halsnerv (C2) zwischen dem 1. und 2. Halswirbel aus, der 2. Brustnerv (Th2) aber zwischen dem 2. und 3. Brustwirbel. Der 1. Halsnerv verlässt den Wirbelkanal über das Foramen vertebrale laterale des Atlas (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a).

Jeder Spinalnerv entspringt mit zwei Wurzeln aus dem Rückenmark, einer **Radix dorsalis** und einer **Radix ventralis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). In der Radix dorsalis verlaufen

somato- und viszero-afferente Nervenfasern, in der Radix ventralis somato- und viszero-efferente Fasern (KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b). In die Dorsalwurzel ist stets ein Spinalganglion, **Ganglion spinale**, eingelagert (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a), in dem sensible, pseudounipolare Wurzelzellen liegen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b). Die beiden Wurzeln treten durch die Dura mater und vereinigen sich zum Spinalnerv (KÖNIG et al., 2012b) bzw. dessen Stamm, **Truncus n. spinalis**^{*)} (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Dieser verlässt den Wirbelkanal durch das Foramen intervertebrale (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b) (am Atlas durch das For. vertebrale laterale (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b)) und teilt sich in vier Äste auf: einen schwachen **Ramus meningeus** mit sensiblen und sympathischen Fasern für die Versorgung der Rückenmarkshäute und der Gefäße des Wirbelkanals (NICKEL et al., 2004a; PEDERSEN et al., 1956; SALOMON, 2008b), **Rami communicantes**, die eine Verbindung der Spinalnerven mit dem Grenzstrang herstellen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b), sowie einen schwächeren Dorsal- und einen stärkeren Ventralast, **Ramus dorsalis et ventralis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b), beides gemischte Nerven, zur Versorgung von Muskeln, Gelenken, Sehnen und Bändern, des Periosts sowie der Haut (NICKEL et al., 2004a). Die beiden letztgenannten Rami spalten sich jeweils weiter in einen medialen und einen lateralen Ast auf, **Ramus medialis et lateralis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Der R. medialis des Dorsalasts versorgt hauptsächlich die dorsale Hals- bzw. Rückenmuskulatur, der R. lateralis in erster Linie die Haut (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a) dorsal und dorsolateral an Hals und Rumpf (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b). Das sensible Innervationsgebiet eines Hautasts ist ein **Dermatom** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Dermatome sind stets auch vegetativ innerviert und haben über diese (vegetativen) Fasern Verbindung zu einzelnen inneren Organen, so dass sich Organerkrankungen an den zugehörigen Hautarealen manifestieren können (KÖNIG et al., 2012b). Der Ventralast zeigt eine regionale Variabilität (NICKEL et al., 2004a). Grundsätzlich versorgt er die ventrale

^{*)} kein NAV-Terminus

Stammuskulatur, die zugehörigen Hautbezirke der Körperwand bzw. Muskulatur und Haut der Gliedmaßen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Für die Haut entlässt der Ramus ventralis i.d.R. zwei Hautäste, einen etwa auf Höhe der Rumpfmittle und einen ventral auf Höhe der Linea alba (KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b).

An verschiedenen Stellen des Körpers vereinigen sich die Ventraläste mehrerer Spinalnerven zu Nervenplexen, z.B. an der Vordergliedmaße zum **Plexus brachialis**, wo ihre Fasern zum Teil neu aufgeteilt werden (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Die aus dem Nervenplex hervorgehenden Nerven enthalten entsprechend Fasern von mehreren der ursprünglichen Spinalnerven, so dass eine eindeutige Zuordnung zu einem bestimmten Segment des Rückenmarks nur sehr eingeschränkt möglich ist. Daraus ergibt sich, dass bei umschriebenen Läsionen im Rückenmark nicht einzelne Muskeln oder Muskelgruppen ausfallen, sondern Funktionsstörungen in Form von Paresen oder Ataxien bei allen Muskeln auftreten, die Faseranteile aus dem betroffenen Rückenmarkssegment beziehen (NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Gleiches gilt für die Zuordnung der Sensibilität bestimmter Hautbezirke zu einem segmentalen Nerven (NICKEL et al., 2004a), da sich die einzelnen Dermatome i.d.R. überlappen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c).

2.3.5.2 Plexus brachialis

Das Armgeflecht, **Plexus brachialis**, ist einer der beiden großen somatischen Nervenplexen zur Versorgung der Gliedmaßen. Er stellt eine Vereinigung der Ventraläste des 6., 7. und 8. Halsnerven (C6-C8) sowie des 1. und 2. Brustnerven (Th1-Th2) dar, welche untereinander Fasern austauschen (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Diese Ventraläste bilden die Wurzeln des Plexus brachialis, **Radices plexus** (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Gelegentlich ist auch der 5. Halsnerv (C5) an der Plexusbildung beteiligt, während eine Beteiligung des 2. Brustnerven häufiger ausbleibt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b). Sind C5 und/oder Th2 an der Plexusbildung beteiligt, so ist ihr Faseranteil im Verhältnis zu den anderen Nerven gering (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c). ALLAM et al. (1952) beschreiben drei variable Stränge, **Trunci plexus**, zu denen sich die Radices plexus zusammenschließen und aus denen die Plexusnerven hervorgehen.

Man findet den Plexus brachialis unmittelbar kranial der 1. Rippe zwischen dem M. longus colli und dem M. scalenus (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). Die Nerven ziehen ventral des M. scalenus medius durch die Fossa axillaris an die mediale Fläche der Schulter (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a).

Aus dem Plexus brachialis gehen zwölf Nerven von gemischter Faserqualität hervor, die die Schultergliedmaße sowie Teile der Schultergürtelmuskulatur und der Rumpfwand innervieren (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). Dies sind der **N. suprascapularis**, der **N. musculocutaneus**, der **N. axillaris**, die **Nn. subscapulares**, die **Nn. pectorales craniales**, die **Nn. pectorales caudales**, der **N. thoracicus longus**, der **N. thoracodorsalis**, der **N. thoracicus lateralis**, der **N. radialis**, der **N. medianus** und der **N. ulnaris** (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). EVANS und DE LAHUNTA (2013c) nennen einen weiteren Plexusnerv, den **N. brachiocephalicus**, der aus den Ventralästen von C6 und manchmal C5 hervorgeht (ALLAM et al., 1952) und den M. brachiocephalicus innerviert. Dieser Nerv ist in der NAV nicht beschrieben, daher wird auf ihn in dieser Arbeit nicht weiter eingegangen.

Die folgenden Muskeln werden nicht von Plexusnerven innerviert: M. trapezius, M. sternocephalicus, M. cleidocephalicus, M. omotransversarius, M. rhomboideus und Pars cervicalis des M. serratus ventralis. Die Versorgung der ersten vier Muskeln übernehmen der N. accessorius, XI. Gehirnnerv, (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008b; SEIFERLE und FREWEIN, 2004) sowie Ventraläste der Halsnerven (HERMANSON, 2013), die des M. rhomboideus erfolgt direkt durch Hals- und Brustnerven (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008b; SEIFERLE und FREWEIN, 2004), die des M. serratus ventralis, Pars cervicalis durch Dorsaläste (LIEBICH et al., 2012) und Ventraläste der Halsnerven (HERMANSON, 2013; LIEBICH et al., 2012; SALOMON, 2008b; SEIFERLE und FREWEIN, 2004). Ebenso wird die Haut im dorsalen Bereich der Schulter nicht von Plexusnerven, sondern von den Dorsal- und Ventralästen der zugehörigen Hals- und Brustnerven versorgt (KÖNIG et al., 2012b).

Klinische Bedeutung: Der Plexus brachialis oder einzelne Nerven daraus können durch Traumen verschiedener Ursache (Druck, Quetschung, Überdehnung) oder auch durch Tumoren oder Abszesse geschädigt werden. V.a. bei Autounfällen werden die Vordergliedmaßen häufig extrem abduziert, so dass Nerven ab- oder aus dem Rückenmark ausreißen. Ist der Plexus vollständig abgerissen, sind sämtliche Muskeln der Gliedmaße gelähmt, was zum Hängen von Schulter und Ellbogen und

zum Überköten des Karpalgelenks führt. Auch der Pannikulusreflex kann nicht mehr ausgelöst werden (BUDRAS, 2012).

2.3.5.2.1 N. suprascapularis

Der **N. suprascapularis** ist der kranialste Nerv des Plexus mit Fasern von C6 und C7 (NICHEL et al., 2004a; SHARP et al., 1991). Er zieht als kräftiger Nerv, begleitet von der A. und V. suprascapularis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c), zwischen dem M. subscapularis und dem M. supraspinatus um die Incisura scapulae auf die Lateralseite des Schulterblatts, wo er den M. supraspinatus innerviert. Dann zieht er weiter entlang des Collum scapulae distal des Akromions zum M. infraspinatus, den er ebenfalls motorisch versorgt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICHEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Mit einem kleinen Ast innerviert er außerdem den lateralen Teil der Gelenkkapsel (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c). Einen Hautast gibt der N. suprascapularis beim Hund nicht ab (KITCHELL et al., 1980).

Klinische Bedeutung: Bei seiner Umrundung des Collum scapulae liegt der Nerv dem Vorderrand des Schulterblatts direkt auf, wodurch er für Verletzungen anfällig ist (BUDRAS, 2012; KÖNIG et al., 2012b). So kann er u.a. durch einen Schlag auf das Buggelenk, ein plötzliches Nach-hinten-Ziehen der Gliedmaße oder eine Fraktur des Schulterblattes geschädigt werden, was zur Lähmung und Atrophie der Mm. supra- und infraspinatus führt und sich klinisch in einer Abduktion, dem sog. Abblatten der Schulter, bei Belastung manifestiert (BUDRAS, 2012; KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b).

2.3.5.2.2 N. musculocutaneus

Der **N. musculocutaneus** verlässt den Plexus kaudal des N. suprascapularis (KÖNIG et al., 2012b; NICHEL et al., 2004a). Er enthält hauptsächlich Fasern von C7, aber häufig auch solche von C8 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICHEL et al., 2004a), nach SALOMON (2008b) und EVANS und DE LAHUNTA (2013c) zusätzlich noch von C6, nach BUDRAS (2012) auch von Th1. Auf Höhe des Schultergelenks (NICHEL et al., 2004a) bzw. proximal am Humerus (KÖNIG et al., 2012b) gibt er nach lateral einen **Ramus muscularis proximalis** ab, welcher sich weiter an den M. coracobrachialis und den M. biceps brachii verzweigt (BUDRAS, 2012; KÖNIG et al., 2012b; NICHEL et al., 2004a). EVANS und DE LAHUNTA (2013c) beschreiben die Innervation des M. coracobrachialis als kleinen

eigenständigen Abzweig aus dem N. musculocutaneus bzw. direkt aus C8 oder Th1. Demnach innerviert der R. muscularis proximalis nur den M. biceps brachii (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c). Der Hauptnerv zieht weiter Richtung Ellbogengelenk. Kurz vor Erreichen desselben verbindet er sich durch einen kurzen Querast mit dem N. medianus (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a), mit dem er motorische und sensible Fasern austauscht (KITCHELL et al., 1980). Im Anschluss gabelt er sich in einen **Ramus muscularis distalis** für den M. brachialis und (noch einmal) den M. biceps brachii (BUDRAS, 2012) und einen **N. cutaneus antebrachii medialis** (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Der Hautnerv zieht zwischen dem M. biceps brachii und dem M. brachialis auf die Vorderseite des Unterarms (NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b) und weiter zwischen dem M. brachiocephalicus und dem M. biceps brachii an die Oberfläche (NICKEL et al., 2004a). Dort verzweigt er sich v.a. auf der medialen Fläche der Unterarmfaszie (NICKEL et al., 2004a) und gibt auch Zweige an die Vorderfläche der Gelenkkapsel des Ellbogengelenks ab (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Das Hautareal, welches vom N. cutaneus antebrachii medialis innerviert wird, liegt medial (SALOMON, 2008b) bzw. kraniomedial (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c) am Unterarm (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b).

Klinische Bedeutung: Bei Verletzung des N. musculocutaneus zeigt der Hund ein abnormes Gangbild, da er durch motorischen Ausfall des M. biceps brachii und des M. brachialis das Ellbogengelenk nicht mehr beugen kann (SALOMON, 2008b).

2.3.5.2.3 N. axillaris

Der **N. axillaris** besteht nach NICKEL et al. (2004a) beim Hund ausschließlich aus Fasern von C7. EVANS und DE LAHUNTA (2013c) und SALOMON (2008b) beschreiben eine Beteiligung der Nerven C7 und C8 und manchmal auch C6, BUDRAS (2012) nennt grundsätzlich C6 bis C8. Der N. axillaris verläuft zwischen dem Hinterrand des M. subscapularis und der A. subscapularis über die Beugeseite des Schultergelenks nach lateral (NICKEL et al., 2004a). Dabei gibt er sensible Zweige an das Gelenk ab (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Auf der Lateralseite erscheint er zwischen Caput longum und Caput laterale des M. triceps brachii hinter dem M. teres minor und verzweigt sich unter dem M. deltoideus in mehrere Muskeläste für den M. deltoideus, die Mm. teres major und minor sowie den kaudalen Teil des M. subscapularis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b).

Nach NICKEL et al. (2004a), SALOMON (2008b) und KÖNIG et al. (2012b) innerviert er zusätzlich den M. cleidobrachialis, dem EVANS und DE LAHUNTA (2013c) eine Versorgung durch den N. brachiocephalicus^{*)}, BUDRAS (2012) hingegen durch den N. axillaris accessorius^{*)} (kein Plexusnerv) zuschreiben. Außerdem gibt er einen Hautast, **N. cutaneus antebrachii cranialis**, ab, der zwischen dem Hinterrand des M. deltoideus und Caput laterale des M. triceps brachii an die Oberfläche tritt und nach Aufgabelung in mindestens zwei Äste lateral über den M. extensor carpi radialis zur Haut an der Vorderfläche des Unterarms zieht, die er bis zum Karpus hinunter sensibel innerviert (NICKEL et al., 2004a). KÖNIG et al. (2012b) dehnen das Innervationsgebiet des Hautnerven bis auf den Oberarm (ebenfalls Kranialfläche) aus. SALOMON (2008b) und EVANS und DE LAHUNTA (2013c) beschreiben zwei Hautnerven, die aus dem N. axillaris hervorgehen: den **N. cutaneus brachii lateralis cranialis** und den **N. cutaneus antebrachii cranialis**. Ersterer versorgt die Haut lateral am Oberarm, letzterer die kranial am Unterarm (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c).

Klinische Bedeutung: Eine Verletzung des N. axillaris führt zu motorischen Ausfällen im Bereich des Schultergelenks, welches nicht mehr gebeugt werden kann (SALOMON, 2008b).

2.3.5.2.4 Nn. subscapulares

Die **Nn. subscapulares** innervieren den M. subscapularis mit Ausnahme seines Hinterrands, der motorisch vom N. axillaris versorgt wird (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). Es handelt sich um zwei bis vier schwache Nerven, die den Plexus entweder einzeln oder zusammen mit anderen Nerven verlassen (NICKEL et al., 2004a). Ihre Fasern beziehen sie aus C6 und C7 (BUDRAS, 2012; EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b). EVANS und DE LAHUNTA (2013c) sprechen von einem Nerven, der sich bei Erreichen des M. subscapularis in kraniale und kaudale Anteile aufteilt. Der Nerv entlässt keinen Hautast (KITCHELL et al., 1980).

2.3.5.2.5 Nn. pectorales craniales et caudales

Die kleineren **Nn. pectorales craniales** bestehen aus einer unterschiedlichen Anzahl - zwei (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b) oder drei bis

^{*)} kein NAV-Terminus

fünf (NICKEL et al., 2004a) - von Ästen. Sie gehen aus dem kranialen Bereich des Plexus brachialis hervor (NICKEL et al., 2004a), beziehen ihre Fasern von C6 bis C8 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b). Vom Plexus ziehen sie ventral und innervieren die Mm. pectorales superficiales (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b).

Die stärkeren drei bis vier (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c) **Nn. pectorales caudales** treten weiter kaudal aus dem Plexus hervor und ziehen kaudoverstral zur Innervation des M. pectoralis profundus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Sie entspringen aus den Segmenten C8-Th2 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b). In ihrem Anfangsteil können sie mit anderen Plexusnerven, v.a. dem N. thoracicus lateralis, verbunden sein (NICKEL et al., 2004a). Nach NICKEL et al. (2004a) geben die Nn. pectorales caudales Zweige an ventrale Bereiche des M. cutaneus trunci ab. Weder die kranialen noch die kaudalen Nn. pectorales geben Hautäste ab (KITCHELL et al., 1980).

2.3.5.2.6 N. thoracicus longus

Der **N. thoracicus longus** bezieht seine Fasern v.a. von C7 oder C8 (NICKEL et al., 2004a) bzw. C7 und C8 (SALOMON, 2008b). Er verlässt den Plexus weit dorsal (NICKEL et al., 2004a), zieht nahezu waagerecht kaudal und innerviert den M. serratus ventralis thoracis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Laut EVANS und DE LAHUNTA (2013c) entspringt er dem C7 vor dessen Beteiligung an der Plexusbildung.

2.3.5.2.7 N. thoracodorsalis

Der **N. thoracodorsalis** innerviert den M. latissimus dorsi (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Er entspringt aus dem kaudalen Bereich des Plexus, vornehmlich aus C8 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b), und zieht medial über den M. teres major nach kaudal (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). Der N. thoracodorsalis gibt keinen Hautast ab (KITCHELL et al., 1980).

2.3.5.2.8 N. thoracicus lateralis

Der **N. thoracicus lateralis** verlässt den hinteren Bereich des Plexus gemeinsam mit den Nn. pectorales caudales (NICKEL et al., 2004a). Seine Fasern bezieht er von C8 und Th1 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Nachdem er den M. teres major medial passiert hat, zieht er am ventralen Rand des M. latissimus dorsi entlang zum M. cutaneus trunci (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Dort verzweigt er sich und strahlt in den Rumpfhautmuskel bis zur Flanke hin ein (NICKEL et al., 2004a). Nach EVANS und DE LAHUNTA (2013c) innerviert er bei Rüden zusätzlich motorisch den M. praeputialis cranialis. Ein Zweig vereinigt sich mit dem Ramus cutaneus lateralis der Ventraläste von Th2 und Th3 und bildet den **N. intercostobrachialis** (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). Dieser windet sich um das Caput longum des M. triceps brachii und versorgt zum Teil den M. cutaneus trunci mit motorischen (BUDRAS, 2012; NICKEL et al., 2004a) sowie den hinteren, ventralen Bereich der Regio tricipitalis mit sensiblen Fasern (BUDRAS, 2012; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a).

Klinische Bedeutung: Der N. thoracicus lateralis ist Teil des Panniculus-Reflexbogens (BUDRAS, 2012; SALOMON, 2008b). Mit diesem Reflex werden sensible und motorische Nerven im Bereich des Rumpfes als auch die aufsteigenden Bahnen innerhalb des Rückenmarks (nach kranial bis C8/Th1) getestet (SALOMON, 2008b).

2.3.5.2.9 N. radialis

Der **N. radialis** ist der stärkste Plexusnerv (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b). Er bezieht Fasern aus dem hinteren Teil des Plexus von C7, C8, Th1 (NICKEL et al., 2004a) und Th2 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b), nach KÖNIG et al. (2012b) hauptsächlich aus C8. Sein motorisches Innervationsgebiet umfasst alle Streckmuskeln des Ellbogengelenks, des Karpalgelenks und der Zehengelenke (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b) sowie den M. extensor carpi ulnaris (NICKEL et al., 2004a), die Supinatoren M. supinator und M. brachioradialis und den M. abductor pollicis longus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Außerdem innerviert er sensibel die

folgenden Hautbezirke: als **N. cutaneus brachii lateralis**^{*)} (NICKEL et al., 2004a) bzw. **N. cutaneus brachii lateralis caudalis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c) die Haut über dem Caput laterale des M. triceps brachii (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a) und als **N. cutaneus antebrachii lateralis** die Haut lateral am Unterarm (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). Andere Autoren beschreiben eine sensible Versorgung der Kranialseite (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c) bzw. Kraniolateralseite (SALOMON, 2008b) des Unterarms und der Dorsalseite der Pfote (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b).

Sein Stamm zieht zunächst auf der Medialseite zusammen mit und kaudal der A. brachialis distal (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). Etwa in der Mitte des Oberarms hinter dem M. teres major taucht er zwischen Caput longum und Caput mediale des M. triceps brachii in die Tiefe (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b) und zieht, bedeckt vom Caput laterale des M. triceps brachii, laterodistal zur Beugeseite des Ellbogengelenks (NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Muskeläste gehen an den M. triceps brachii, den M. tensor fasciae antebrachii, den M. anconaeus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b) und auch an den M. brachialis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c), während sich der Hauptnerv noch unter dem Caput laterale in einen **Ramus superficialis** und einen **Ramus profundus** aufzweigt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b).

Der **Ramus profundus** geht erneut in die Tiefe und zieht unter den Köpfen der Mm. extensor carpi radialis und extensor digitorum communis, die er innerviert, über die Beugeseite des Ellbogengelenks zum Unterarm (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a) und gibt einen Zweig an die Kraniolateralseite der Gelenkkapsel ab (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c). Am Unterarm innerviert er die Mm. extensor digitorum lateralis, extensor carpi ulnaris, abductor pollicis longus, brachioradialis und supinator, unter welchem er ebenfalls hindurchzieht (NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). EVANS und DE LAHUNTA (2013c) erwähnen noch Äste an die Mm. extensor digiti I und II sowie an das Vorderfußwurzelgelenk.

Der **Ramus superficialis** tritt am Distalrand des Caput laterale des M. triceps brachii an die Oberfläche und gabelt sich unmittelbar in einen **Ramus lateralis** und einen **Ramus medialis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Der Ramus lateralis gibt in Höhe des Ellbogengelenks noch den

^{*)} kein NAV-Terminus

oft doppelt vorkommenden **N. cutaneus antebrachii lateralis** ab, der die Haut lateral um das Ellbogengelenk innerviert (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c), dann ziehen beide Rami unter Abgabe von sensiblen Fasern an die Haut über die Kranialseite von Unterarm, Karpus und Mittelfuß in Richtung Zehen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Kurz vor Erreichen der Vorderfußwurzel sind beide Äste durch einen Querast miteinander verbunden (NICKEL et al., 2004a).

Am Mittelfuß wird aus dem Ramus medialis der **N. digitalis dorsalis communis I**, aus dem Ramus lateralis durch Aufspaltung die **Nn. digitales dorsales communes II bis IV** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Aus diesen vier Nerven gehen auf Höhe des Zehengrundgelenks die **Nn. digitales dorsales proprii axiales et abaxiales** zur Versorgung aller Zehen hervor (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Lediglich der **N. digitalis dorsalis V abaxialis** entstammt dem N. ulnaris (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a).

Klinische Bedeutung: Bei der Überquerung des Oberarms liegt der Nerv dem Humerus teilweise (am Hinterrand des M. brachialis) unmittelbar auf. Dort ist er anfällig für Quetschungen, z.B. bei Sturz, Schlag oder längerer Seitenlage während einer OP (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Auch kann es zum Zerreißen des Nerven z.B. durch Fraktur des Humerus oder der 1. Rippe kommen (KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b). Jede Schädigung führt zur **Radialislähmung**, die sich klinisch vornehmlich im **Überköten**, d.h. Beugestellung von Karpal- und Zehengelenken („Kusshandstellung“ (BUDRAS, 2012)) manifestiert (BUDRAS, 2012; KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b). Ist der Nerv oberhalb der Versorgungsäste für den M. triceps brachii geschädigt (proximale Radialislähmung, (BUDRAS, 2012)), so kann das Ellbogengelenk nicht mehr aktiv gestreckt werden, und die Schrittlänge verkürzt sich (SALOMON, 2008b). KÖNIG et al. (2012b) und EVANS und DE LAHUNTA (2013c) sprechen gar von einem Nachschleifen der Gliedmaße, weil das Ellbogengelenk nicht mehr belastbar ist. Zusätzlich kommt es zu einem Sensibilitätsverlust in den vom N. radialis innervierten Hautarealen (SALOMON, 2008b).

2.3.5.2.10 N. medianus

Der **N. medianus** ist wie der N. radialis ein sehr starker Nerv aus dem mittleren Bereich des Plexus (NICKEL et al., 2004a). NICKEL et al. (2004a) bezeichnen ihn als den stärksten Plexusnerven. Seine Fasern bezieht er v.a. von C8 und Th1 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b),

manchmal auch von C7 und Th2 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b). Zusammen mit dem N. ulnaris, mit dem er nach Verlassen des Plexus zunächst verbunden ist, versorgt er motorisch die Beugemuskeln des Karpalgelenks und der Zehengelenke (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Zum sensiblen Versorgungsbereich dieses Nervs gehören die Haut palmar und dorsolateral an Mittelfuß und Zehen (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a), das Ellbogengelenk, das Karpalgelenk, die Zehengelenke, das Periost sowie alle Sehnen und Bänder vom Unterarm abwärts (NICKEL et al., 2004a).

Der Nerv verläuft stets auf der medialen oder mediokaudalen Seite der Vordergliedmaße (NICKEL et al., 2004a). Oberhalb des Ellbogengelenks gibt er keine motorischen Fasern ab (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; SALOMON, 2008b). Er zieht zunächst zusammen mit der A. brachialis über den Oberarm zum Ellbogengelenk, an dessen mediale Aussackung er sensible Äste abgibt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Dann taucht er unter den M. pronator teres (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b) und zieht weiter mit der A. und V. mediana über die kaudomediale Seite des Unterarms zwischen dem oberflächlichen und dem tiefen Zehenbeuger zum Karpalgelenk (NICKEL et al., 2004a). Auf diesem Weg werden Muskeläste an die folgenden Muskeln abgegeben: M. flexor carpi radialis, M. pronator teres, M. pronator quadratus, Caput radiale und humerale (mediale und distale Portion) des M. flexor digitorum profundus, M. flexor digitorum superficialis, (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b) Mm. interflexorii (NICKEL et al., 2004a). Auf Höhe des Spatium interosseum des Unterarms entlässt er einen dünnen **N. interosseus antebrachii**, der nach Passieren des Spatium das Periost am Unterarm sensibel innerviert (NICKEL et al., 2004a). Laut EVANS und DE LAHUNTA (2013c) versorgt dieser Nerv den M. pronator quadratus. Distal der Mitte des Unterarms entlässt er zusätzlich einen **Ramus palmaris**, der die Haut medial und kaudal des Karpalgelenks innerviert (NICKEL et al., 2004a). Auf der mediopalmaren Fläche der Vorderfußwurzel und des Mittelfußes verzweigt sich der Nerv in die **Nn. digitales palmares communes I, II und III**. Diese vereinigen sich, ebenso wie der **N. digitalis palmaris communis IV** des N. ulnaris proximal des Zehengrundgelenks mit den **Nn. metacarpei palmares** des **Ramus profundus** des N. ulnaris. Im weiteren Verlauf gabeln sich die gemeinsamen Zehennerven auf in die **Nn. digitales palmares proprii axiales et abaxiales** der jeweiligen Zehen inklusive eines **N. digitalis palmaris I abaxialis**, die also teilweise Fasern beider Nerven (N. medianus und N. ulnaris) enthalten (NICKEL

et al., 2004a). Diese Nerven geben auch sensible Anteile an den Metakarpal- und die Zehenballen ab (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a).

2.3.5.2.11 N. ulnaris

Wie auch der N. medianus erhält der **N. ulnaris** seine Fasern hauptsächlich von C8 und Th1, manchmal noch von Th2 (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Motorisch innerviert der N. ulnaris wie der N. medianus Beugemuskeln des Karpalgelenks und der Zehengelenke (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Sensibel versorgt er die Haut kaudal am Unterarm und zusammen mit dem N. medianus die Haut am Metakarpus und an den Zehen (NICKEL et al., 2004a).

Am Oberarm zieht er gemeinsam mit dem N. medianus, der in diesem Teil schwächer ist als der N. ulnaris (NICKEL et al., 2004a), entlang der A. brachialis (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a) bis zum Abzweig der A. collateralis ulnaris (NICKEL et al., 2004a). Dieser folgt er am distalen Rand des Caput mediale des M. triceps brachii in Richtung Streckseite des Ellbogengelenks, wo er proximomedial (NICKEL et al., 2004a) bzw. kaudal (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c) über den Epicondylus medialis des Humerus zieht (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Dabei gibt er Äste an die kaudale Gelenkaussackung ab (NICKEL et al., 2004a). Bis dahin hat er den **N. cutaneus antebrachii caudalis** abgezweigt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Dieser versorgt sensibel laut NICKEL et al. (2004a) die Haut kaudal am Unterarm inklusive der angrenzenden lateralen und medialen Hautbereiche. Nach KÖNIG et al. (2012b) umfasst das Innervationsgebiet die Haut kaudal am Unterarm, nach SALOMON (2008b) kaudomedial am Unterarm und nach EVANS und DE LAHUNTA (2013c) kaudolateral in den proximalen zwei Dritteln des Unterarms. Im weiteren Verlauf zieht der N. ulnaris lateral (NICKEL et al., 2004a) bzw. bedeckt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; SALOMON, 2008b) vom Caput ulnare des M. flexor carpi ulnaris an die Kaudalseite des Unterarms (NICKEL et al., 2004a) und gibt im proximalen Bereich des Radius **Rami musculares** für den M. flexor carpi ulnaris, das Caput ulnare und humerale (laterale und proximale Portion) des M. flexor digitorum profundus (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b) und den M. flexor digitorum superficialis ab (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a). An dieser Stelle widersprechen sich die Angaben von SEIFERLE und FREWEIN (2004) und NICKEL et al. (2004a):

SEIFERLE und FREWEIN (2004) schreiben die Innervation des M. flexor digitorum superficialis ausschließlich dem N. medianus zu (siehe Seite 64). Am Unterarm verläuft der Nerv zusammen mit der A. ulnaris (GILLE, 2008; WAIBL et al., 2005) relativ oberflächlich zwischen dem M. flexor carpi ulnaris und M. extensor carpi ulnaris in der Ulnarisrinne distal (KÖNIG et al., 2012b; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Kurz vor Erreichen des Karpus gabelt er sich in einen **Ramus dorsalis** und einen **Ramus palmaris** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b), welche beide Ästchen an das Karpalgelenk abgeben (NICKEL et al., 2004a).

Der **Ramus dorsalis** zieht lateral um den Karpus auf die Dorsolateralseite des Metakarpus (NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Dort innerviert er mit einem proximal laufenden Zweig die Haut lateral im distalen Drittel des Unterarms (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c). Der distal ziehende Teil wird später zum **N. digitalis dorsalis V abaxialis** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a), der die Haut dorsolateral und lateral an der Pfote sowie abaxial palmar an der fünften Zehe innerviert (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c).

Der **Ramus palmaris** gibt einen kleinen sensiblen Ast an den Karpalballen ab (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c), bevor er sich bereits vor Erreichen des Karpus in einen **Ramus profundus** und einen **Ramus superficialis** gabelt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a; SALOMON, 2008b). Beide ziehen medial des Os carpi accessorium über die Beugeseite des Karpalgelenks durch den Karpaltunnel zu den Zehen, wo der Ramus superficialis sich in den **N. digitalis palmaris V abaxialis** und den **N. digitalis palmaris communis IV** aufteilt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Nach NICKEL et al. (2004a) werden von ihm alle gemeinsamen und besonderen Muskeln der Zehen innerviert. Der Ramus profundus verläuft distal des Karpus bogenförmig nach medial, wobei er die **Nn. metacarpei palmares** abgibt (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Laut EVANS und DE LAHUNTA (2013c) werden die gemeinsamen und besonderen Muskeln der Zehen von diesen Nerven versorgt. Vor dem Zehengrundgelenk verbinden sich die tiefen palmaren Nerven mit den **Nn. digitales palmares communes I bis IV** (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c; NICKEL et al., 2004a). Letztere versorgen mit kleinen Zweigen die Zehengelenke der vier Hauptzehen (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c). Zusätzlich geben die Nn. digitales palmares communes II bis IV drei sensible Zweige an den Metakarpalballen ab (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c). Kurz nach der Verbindung der tiefen mit den oberflächlichen gemeinsamen Zehennerven zweigen sich letztere in die

Nn. digitales palmares proprii axiales et abaxiales auf, welche die Haut an den Zehen, die Zehengelenke und die -ballen innervieren (EVANS und DE LAHUNTA, 2013c).

2.3.5.2.12 Allgemeines Prinzip der Innervation der Pfote

An dieser Stelle soll das Prinzip der Benennung der Nerven in der Pfote nach der NAV und eine Übersicht der Herkunft und Verteilung dieser Nerven gegeben werden. Sie orientiert sich vollständig an Angaben von EVANS und DE LAHUNTA (2013c) KOPP (1901) und Abbildungen aus NICKEL et al. (2004a).

Wie die Blutgefäße, welche die Pfote versorgen, werden auch die Nerven für die Pfote in einen dorsalen und einen palmaren Satz eingeteilt. Der dorsale Satz besteht aus oberflächlich verlaufenden Nerven; sie heißen gemäß der NAV, Nn. digitales dorsales communes plus Ziffer der zugehörigen Zehe. Der Hund besitzt Nn. digitales dorsales communes I, II, III und IV, die alle dem N. radialis entstammen.

Auf der Palmarseite gibt es einen oberflächlichen und einen tiefen Satz Nerven. Der oberflächliche heißt analog zu den dorsal verlaufenden Nerven Nn. digitales palmares communes plus Ziffer der zugehörigen Zehe, die tiefen Nerven sind die Nn. metacarpei palmares plus Ziffer der zugehörigen Zehe. Auch von diesen besitzt der Hund jeweils vier. Die Nn. digitales palmares communes I, II, III entstammen dem N. medianus, der N. digitalis palmaris communis IV dem Ramus superficialis des N. ulnaris. Die tiefen gemeinsamen Zehennerven (Nn. metacarpei palmares I bis IV) sind Aufzweigungen des Ramus profundus des N. ulnaris.

Aus den gemeinsamen Zehennerven gehen die Eigennerven der Zehen hervor (auf der Palmarseite nach Verschmelzung der tiefen und oberflächlichen Nerven). Sie heißen Nn. digitales dorsales/palmares proprii plus Ziffer der zugehörigen Zehe axiales/abaxiales. Die für die Namensgebung maßgebliche Gliedmaßenachse liegt zwischen der 3. und 4. Zehe. Die dieser Achse zugewandte Zehenseite ist die axiale Seite, die ihr abgewandte Seite die abaxiale. So spaltet sich z.T. der N. digitalis dorsalis communis II in den N. digitalis dorsalis proprius II axialis und N. digitalis dorsalis proprius III abaxialis.

Eine Ausnahme von diesem Prinzip bilden die Nerven, welche die palmare abaxiale Seite der 1. Zehe sowie die dorsale und palmare abaxiale Seite der 5. Zehe innervieren. Sie entstammen keinem gemeinsamen Zehennerv, sondern gehen direkt aus dem R. dorsalis bzw. palmaris des N. ulnaris (5. Zehe) oder dem N. medianus (1. Zehe) hervor. Ihre Benennung ist deshalb N. digitalis palmaris I abaxialis und Nn. digitales dorsalis et palmaris V abaxiales. Der Nerv für die dorsale

abaxiale Seite der 1. Zehe entstammt dem 1. gemeinsamen Zehennerv (N. digitalis dorsalis communis I).

Nerv	Motorisches Innervationsgebiet	Sensibles Innervationsgebiet
N. suprascapularis	M. supraspinatus M. infraspinatus	Schultergelenk ^{2,4}
N. musculocutaneus	R. muscularis proximalis: - M. coracobrachialis - M. biceps brachii R. muscularis distalis: - M. brachialis - M. brachialis, zum Teil ^{1,2}	Ellbogengelenk ^{1,4} N. cutaneus antebrachii medialis: - Haut medial am Unterarm ^{1,2,3} - Haut kraniomedial am Unterarm ⁴
N. axillaris	M. cleidobrachialis M. subscapularis (kaudaler Rand) M. deltoideus M. teres major M. teres minor	Schultergelenk ^{1,2,4} N. cutaneus brachii lateralis cranialis: - Haut lateral am Oberarm ^{3,4} N. cutaneus antebrachii cranialis: - Haut kranial am Unterarm ^{1,2,3} - Haut kranial am Oberarm ² - Haut proximokraniolateral am Unterarm ⁴
Nn. subscapulares	M. subscapularis	
Nn. pectorales craniales	Mm. pectorales superficiales	
Nn. pectorales caudales	M. pectoralis profundus Ventrales Randgebiet des M. cutaneus trunci ¹	
N. thoracicus longus	M. serratus ventralis thoracis	
N. thoracodorsalis	M. latissimus dorsi	
N. thoracicus lateralis	M. cutaneus trunci	Zusammen mit Intercostalnerven: - ventrale Partien der Brust- und Bauchhaut ^{1,2} - Haut in Oberarm- und Tricepsgegend ^{1,2}
N. radialis	M. triceps brachii	N. cutaneus brachii lateralis ^{*)} :

^{*)} kein NAV-Terminus

N. radialis (Forts.)	M. anconaeus M. tensor fasciae antebrachii M. extensor carpi radialis M. extensor digitorum communis M. extensor digitorum lateralis M. extensor carpi ulnaris M. abductor pollicis longus M. brachioradialis M. supinator M. brachialis (zum Teil) ² M. extensor digiti I longus et digiti II ⁴	- Haut lateral am Oberarm ^{1,2} N. cutaneus brachii lateralis caudalis: - Haut über dem Caput laterale des M. triceps brachii ⁴ N. cutaneus antebrachii lateralis des Ramus superficialis: - Haut kraniolateral am Unterarm und dorsal am Mittelfuß und an den Zehen ^{1,3,4} - Haut seitlich am Unterarm ² - Haut lateral über dem Ellbogengelenk ⁴ Ramus profundus: - Ellbogengelenk ⁴ - Vorderfußwurzelgelenk ⁴
N. medianus	M. flexor carpi radialis M. pronator teres M. pronator quadratus M. flexor digitorum superficialis M. flexor digitorum profundus: - Caput radiale, - Caput humerale zum Teil M. flexor digitorum profundus: - Caput humerale zum Teil zusammen mit N. ulnaris ⁴ Mm. interflexorii ¹	Ellbogen- und Karpalgelenk ^{1,2} gemeinsam mit Ulnarisästen: - Zehengelenke ^{1,2,4} - Haut an der palmaren Seite des Mittelfußes und der Zehen ^{1,2,4} - Metakarpal- und Zehenballen ^{1,4} N. interosseus antebrachii: - Periost - alle Sehnen und Bänder vom Unterarm abwärts ¹
N. ulnaris	M. flexor carpi ulnaris M. flexor digitorum superficialis ^{1,2} M. flexor digitorum profundus: - Caput ulnare - Caput humerale zum Teil M. flexor digitorum profundus: - Caput humerale zum Teil zusammen mit N. medianus ⁴ Mm. interossei ^{1,2} Alle gemeinsamen und besonderen Zehenmuskeln ^{1,4}	Ellbogen- und Karpalgelenk ^{1,2} Karpalballen ⁴ N. cutaneus antebrachii caudalis: - Haut kaudal (kaudomedial ³) am Unterarm ^{1,2,4} - Haut dorsolateral (lateral ⁴) am Mittelfuß bis Zehenende ^{1,2,3} gemeinsam mit Medianusästen: - Zehengelenke ^{1,2,4} - Haut an der palmaren und lateralen Seite der Zehen ^{1,2,4} - Metakarpal- und Zehenballen ^{1,4}

Tab. 2: Übersicht über die Innervationsgebiete der Plexusnerven nach Angaben der folgenden Autoren: 1 = NICKEL et al. (2004a); 2 = KÖNIG et al. (2012b); 3 = SALOMON (2008b); 4 = EVANS und DE LAHUNTA (2013c)

2.3.6 Hautanhangsgebilde

2.3.6.1 Ballen

Die Ballen sind haarlose, modifizierte Hautbezirke palmar bzw. plantar an Vorder- und Hinterfuß. Im Folgenden wird nur auf die Ballen der Vordergliedmaße eingegangen. Der Hund besitzt an jeder Vordergliedmaße drei Gruppen von Ballen (BUDRAS, 2012; GEYER, 2008; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012):

- einen Handwurzel- oder Karpalballen (**Torus carpeus**) mediopalmar am Karpus
- einen Mittelhand- (REESE et al., 2012), Sohlen- (GEYER, 2008; HABERMEHL, 2004) oder Metakarpalballen (**Torus metacarpeus**) palmar der Zehengrundgelenke, eine Verschmelzung der Ballen der 2. bis 4. Zehe
- fünf Zehenballen, je einen palmar an jedem Zehenendglied (**Tori digitales**)

Mit Ausnahme des Karpalballens und des Zehenballens der 1. Zehe bilden die Ballen die Fußungsfläche der Gliedmaße. Sie dienen dazu, die Knochen am Fuß vor Druckbelastung zu schützen und die bei der Fußung entstehenden Kräfte wie ein Stoßdämpfer elastisch abzufedern (HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012). Dazu ist die Unterhaut zu einem voluminösen Polster umgewandelt (REESE et al., 2012). Dieses Fußpolster besteht aus subkutanem, nicht komprimierbarem Fettgewebe, welches durch netzförmige, kollagene und elastische Fasern unterteilt ist (AL-BAGDADI, 2013; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012). BUDRAS (2012) und REESE et al. (2012) vergleichen den Aufbau mit den Gelkissen in Laufschuhen. Diese Kammerung führt zu einer hohen Empfindlichkeit gegenüber entzündungsbedingten Druckerhöhungen (BUDRAS, 2012).

Durch Haltebänder (**Retinacula**) sind die Ballen an der Handfaszie verankert. Der Metakarpalballen ist zusätzlich durch Spannbänder am Knochen befestigt (BUDRAS, 2012; REESE et al., 2012). Im Fettgewebe finden sich zahlreiche ekkrine (AL-BAGDADI, 2013; BUDRAS, 2012; GEYER, 2008; REESE et al., 2012) bzw. apokrine (HABERMEHL, 2004) Schweißdrüsen (**Glandulae tori**), deren Ausführungsgänge in der Ballenhornhaut münden. HABERMEHL (2004) schreibt ihnen eine Funktion als Duft- oder Markierungsorgan zu.

Die Haut an den Ballen ist die dickste Hautregion des Hundes (AL-BAGDADI, 2013). In Anpassung an die hohen mechanischen Ansprüche an die Haut besitzt die Lederhaut (**Dermis**) einen mächtigen Papillarkörper (AL-BAGDADI, 2013; REESE et al., 2012) mit Sekundärpapillen (AL-BAGDADI, 2013). Die bis zu 2 mm dicke, i.d.R. stark pigmentierte Oberhaut (**Epidermis**) ist mit einer dicken, weich-elastischen Hornschicht ausgestattet (BUDRAS, 2012; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012), und bildet den Papillarkörper in Form von zahlreichen konischen, stark

keratinisierten, mit bloßem Auge sichtbaren Warzen ab, wodurch sie sich rau anfühlt (AL-BAGDADI, 2013; HABERMEHL, 2004).

Ballen sind sehr gut durchblutet und von Lymphgefäßen durchzogen (BUDRAS, 2012). Die Blutversorgung der Ballen wird von den palmar verlaufenden Gefäßen am Fuß gewährleistet. Die Zehenballen werden von den palmaren besonderen Zehenarterien (Aa. digitales palmares propriae axiales/abaxiales) vaskularisiert (WAIBL et al., 2005), der Metakarpalballen erhält sein Blut von den gemeinsamen Zehenarterien der 2. bis 4. Zehe (Aa. digitales palmares communis II-IV) (BEZUIDENHOUT, 2013a). Der Karpalballen wird von der A. mediana versorgt (BEZUIDENHOUT, 2013a).

Besondere Nervenendigungen, Lamellenkörperchen, verleihen ihnen eine Tastfunktion (HABERMEHL, 2004). Die Zehenballen (Tori digitales) sind Bestandteil des Zehenendorgans (BUDRAS, 2012; REESE et al., 2012).

2.3.6.2 Krallen

Die Kralle, **Unguicula**, ist ein verhorntes, häufig pigmentiertes Hautanhangsgebilde am distalen Zehenglied (AL-BAGDADI, 2013). Es ist Bestandteil des Zehenendorgans (BUDRAS, 2012; REESE et al., 2012), zu welchem im weiteren Sinn auch das Krallenbein sowie der Zehenballen gehören (REESE et al., 2012). Die Kralle hat die Form einer gebogenen und seitlich komprimierten Tüte, die über den Krallenbeinfortsatz, **Proc. unguicularis**, des Krallenbeins gestülpt ist (BUDRAS, 2012; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012). Makroskopisch kann man an ihr eine Sohlenfläche, **Solea cornea**, zwei Wandflächen und einen dorsalen Kamm, **Margo dorsalis**, unterscheiden (AL-BAGDADI, 2013). Die Wandflächen mit dem Margo dorsalis bilden die Krallenplatte, **Paries corneus** (HABERMEHL, 2004). Die Krallenspitze ist beim Hund stumpf, da sie nicht wie bei der Katze eingezogen werden kann, sondern beim Fuß stets Bodenkontakt hat (GEYER, 2008; HABERMEHL, 2004). Ihre Funktion beschränkt sich demnach neben dem Schutz des Krallenbeins auf das Graben und Scharren (HABERMEHL, 2004). An der Krallenbasis im Krallenfalz, **Sulcus unguicularis**, des Krallenbeins ist die Lederhaut zu einer Krallentasche eingefaltet (REESE et al., 2012). Diese wird nach außen durch eine Hautfalte, **Krallenwall** oder **Vallum**, begrenzt, eine Abwandlung der behaarten Haut, die an der Außenseite behaart, an der Innenseite jedoch haarlos ist und die Krallenplatte an ihrer Basis falzartig bedeckt (AL-BAGDADI, 2013; HABERMEHL, 2004). Dabei verwächst der Krallenwall fest mit der Crista unguicularis des Krallenbeins und der Basis der Kralle (AL-BAGDADI, 2013;

HABERMEHL, 2004). Laut HABERMEHL (2004) ist er ein akzessorisches Gebilde der Kralle. Er stellt das Wallsegment, **Saumsegment**, dar (REESE et al., 2012) und bildet ein weiches Wallhorn, **Eponychium**, welches den basalen, dorsalen Teil der Kralle bedeckt und schnell abgerieben wird (BUDRAS, 2012; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012). Auf der palmaren Seite ist der Krallenwall durch eine Furche zwischen Krallensohle und Zehenballen von der Kralle abgegrenzt (AL-BAGDADI, 2013; HABERMEHL, 2004). An der Basis des Krallenfalzes geht das Saumsegment in das Falzsegment, **Kronsegment**, über, dessen Epidermis ein kräftiges Röhrchenhorn, **Kronhorn**, produziert, welches einen Großteil der Hornkralle ausmacht und die Schutzschicht, **Mesonychium**, der Kralle bildet (BUDRAS, 2012; HABERMEHL, 2004). Dieses ist auf der Dorsalseite der Kralle am dicksten und wird seitlich in Richtung Sohlenfläche immer dünner (GEYER, 2008; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012). Auf der Dorsalfläche des Krallenbeinfortsatzes liegt ein glatter Dorsalwulst der Dermis, **Dorsum dermale**, der das dorsale Wandhorn bildet, **Verbindungshorn**, **Hyponychium dorsale**. Er stellt eine Eigentümlichkeit der Fleischfresser dar (BUDRAS, 2012). Lateral am Krallenbein wird ein einfaches, ungeschichtetes seitliches Wandhorn, **Hyponychium laterale**, gebildet. Dorsales und seitliches Wandhorn bilden zusammen die Innenauskleidung der Hornkralle (BUDRAS, 2012). Auf der Palmarseite des Krallenbeinfortsatzes, **Sohlensegment**, bildet die Epidermis das brüchige Sohlenhorn, **Solea cornea** (BUDRAS, 2012; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012), um seine Spitze herum entsteht ein weiches Terminalhorn, **Hyponychium terminale**, welches die Krallentüte distal ausfüllt (BUDRAS, 2012; GEYER, 2008; REESE et al., 2012). Eine Unterhaut fehlt laut REESE et al. (2012) im Wand- und im Sohlensegment, laut BUDRAS (2012) in allen Segmenten außer am Zehenballen. Hier wird der Raum zwischen knöchernen und epidermalen Strukturen von Periost und Krallenlederhaut ausgefüllt, die ineinander übergehen (AL-BAGDADI, 2013). Dieses Gewebe ist stark durchblutet (AL-BAGDADI, 2013). Die Blutzufuhr des Zehenendorgans wird von den besonderen Zehenarterien (Aa. digitales dorsales/palmares propriae axiales/abaxiales) gewährleistet. Dabei reichen die dorsalen Arterien nur bis zum Krallenfalz, während die palmaren in das Krallenbein hineinziehen, wo sie den Arcus terminalis bilden, von dem aus Gefäße zur Krallenlederhaut verlaufen und diese versorgen (REESE et al., 2012).

Die Kralle hat eine hohe Wachstumsrate und muss ständig abgenutzt oder geschnitten werden, sonst wächst sie zirkulär in den Ballen ein und ruft schmerzhaftes Entzündungen hervor (AL-BAGDADI, 2013; BUDRAS, 2012). Besonders die Kralle

der ersten Zehe (Daumenkrallen), die nicht an der Fußung teilnimmt, ist für ein Einwachsen prädestiniert (REESE et al., 2012).

Zum histologischen Aufbau der Krallenlederhaut und der Krallen finden sich Informationen in (AL-BAGDADI, 2013; BUDRAS, 2012; HABERMEHL, 2004; REESE et al., 2012)

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsmaterial

Der Stoff, der im Lernprogramm vermittelt werden soll, wurde zunächst in sechs Themengebiete unterteilt: Knochen, Gelenke, Muskeln, Nerven, Gefäße inkl. lymphatischer Einrichtungen sowie Hautanhangsgebilde. Um die verschiedenen Themengebiete aussagekräftig darzustellen, mussten verschiedene anatomische Präparate hergestellt werden. Die hierfür benötigten Hunde stammten aus der Chirurgischen Tierklinik, wo sie gestorben waren oder eingeschläfert werden mussten, und dem Institut für Tierpathologie der LMU. Die Tiere wurden direkt nach ihrem Tod eingefroren und am Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie bis zu ihrer weiteren Verwendung in der Tiefkühlkammer bei -20°C gelagert.

Für die Herstellung der Präparate wurde den Kadavern von 16 toten Hunden jeweils die linke Vordergliedmaße entnommen. Dadurch soll den Studierenden das parallele Lernen mit Lehrbüchern vereinfacht werden, da in diesen zumeist linke Gliedmaßen abgebildet sind. Bei der Auswahl der Tiere wurde darauf geachtet, dass die Gliedmaßen unversehrt waren und im Fall der Knochenpräparate möglichst keine arthrotischen Veränderungen aufwiesen. Für die Herstellung der Nasspräparate und der Gelenkausgüsse wurden bevorzugt große Gliedmaßen verwendet, um das Präparieren und die Darstellung der einzelnen Strukturen zu erleichtern. Das Geschlecht oder die Hunderasse spielte bei der Auswahl keine Rolle. Lediglich bei den Knochenpräparaten wurden neben den Knochen eines kleinen Mischlings speziell Knochen eines Dackels als Beispiel für eine chondrodystrophe Rasse verwendet, da diese sich in ihrer Form deutlich von den Knochen „normalwüchsiger“ Hunde unterscheiden.

Eine genaue Beschreibung der weiteren Verarbeitung und Lagerung der einzelnen Präparatgruppen erfolgt im Abschnitt Arbeitsschritte (siehe nachfolgend).

Alle Nasspräparate wurden im Anschluss an das „Fotoshooting“ plastiniert und stehen in Zukunft den Studenten für anatomische Kurse und Prüfungen zur Verfügung.

3.2 Arbeitsschritte

3.2.1 Erstellung anatomischer Präparate

3.2.1.1 Knochenpräparate

Für die Darstellung der einzelnen Knochen und ihrer spezifischen Strukturen wurden die linken Vordergliedmaßen dreier ausgewachsener Hunde (eines Dalmatiners, eines kleinen Mischlings und eines Dackels) von Haut und Fell sowie einem Großteil der Muskulatur befreit und anschließend in getrennten verschlossenen Behältern jeweils in einer 1 %igen Waschmittellauge (10 g Waschpulver auf 1 l Wasser) bei 60°C im Wärmeschrank mazeriert. Die Behälter wurden in regelmäßigen Abständen kontrolliert, um Gewebereste zu entfernen und die Waschmittellauge zu erneuern. Die mazerierten Knochen wurden im weiteren Verlauf zunächst in 99 %igem Aceton entfettet, dann für 2 Tage mit 5 %igem Wasserstoffperoxid gebleicht und anschließend getrocknet.

3.2.1.2 Muskelpräparate

Die Muskelpräparate wurden von Studenten im Rahmen eines von mir betreuten Wahlpflichtfaches erstellt. Für die Muskelpräparate wurden fünf Gliedmaßen mit verschiedenen Zielsetzungen präpariert, um alle Muskelschichten anschaulich zu erfassen. Die Präparierziele waren:

- Oberflächliche Muskulatur der gesamten Gliedmaße
- Tiefe Muskulatur der Schulter und des Oberarms
- Tiefe Muskulatur des Oberarms und Rotatoren des Unterarms
- Tiefe Muskulatur des Unterarms
- Muskulatur der Pfote

Die Gliedmaßen wurden mitsamt Schulterblatt nahe dem Rumpf abgetrennt und in einem ersten Schritt die Haut bis hinunter zu den Zehen abgezogen, um möglichst alle Haare zu entfernen, die bei der weiteren Präparation störend gewesen wären. Im weiteren Verlauf wurden die Präparate soweit präpariert, bis alle gewünschten Muskeln klar dargestellt waren. Während der Präparationszeit wurden die Gliedmaßen zwischen den einzelnen Präparierschritten in einer luftdicht abgeschlossenen Kunststoffwanne mit 10 %iger Salzlake im Kühlraum bei 4°C gelagert. Durch die Salzlake behielten die Muskeln ihre rote Farbe. Eine geringe Menge Formalin in der Salzlake (ca. 0.006%) diente zur Fixierung. Die Lake wurde regelmäßig kontrolliert und ggf. gewechselt, um einem Verderb des Gewebes vorzubeugen.

3.2.1.3 Plexuspräparate für Nerven und Gefäße

Die anatomischen Plexuspräparate wurden von Studenten im Rahmen eines von mir betreuten Wahlpflichtfaches erstellt. Die Gliedmaßen wurden mitsamt Schulterblatt und einem Teil der Schultergürtelmuskulatur nahe dem Rumpf abgetrennt, um Gelenke und Plexus brachialis zu schonen. Nach Entfernung der Haut wurden der Plexus brachialis sowie die weiterführenden Nerven und die Gefäße der Gliedmaße bis zur Pfote freigelegt und im Anschluss fotografiert. Die Lagerung der Präparate erfolgte analog zu der der Muskelpräparate (siehe Kapitel 3.2.1.2).

3.2.1.4 Gelenkpräparate

Für die Darstellung der Bänder des Schulter- und des Ellbogengelenks wurden zwei Präparate angefertigt. Deren Behandlung und Lagerung entspricht der der Muskel- und Plexuspräparate (siehe oben).

3.2.1.5 Gelenkausgüsse

Zusätzlich zu den Gelenkpräparaten wurden Gelenkausgüsse von Schulter-, Ellbogen- und Karpalgelenk angefertigt. Hierzu wurden die Vordergliedmaßen von drei relativ großen Hunden zunächst enthäutet und dann in drei Teile zersägt, so dass jedes Stück eines der drei Zielgelenke enthielt. Muskeln und anderes Gewebe wurden soweit abgetragen wie möglich, ohne die Gelenkkapseln zu zerstören. Für die Injektion wurde Reckli-Injektionsharz EP®¹ verwendet. Es handelt sich hierbei um einen Injektionskunststoff, der als Zwei-Komponenten-Harz fungiert. Er besteht aus einem Epoxidharz (Komponente A) und einem Härter (Komponente B). Die beiden Komponenten wurden kurz vor der Verwendung im Verhältnis 3:1 angemischt und durch Zugabe von blauer Mineralfarbe gefärbt. Diese Mischung wurde anschließend über handelsübliche Venenverweilkatheter² mit einem Durchmesser von 0,9 mm für das Schultergelenk bzw. 0,7 mm für das Ellbogen- und das Karpalgelenk in die Gelenkkapseln injiziert, nachdem zuvor die Synovia vollständig abgezogen worden war. Die Präparate kamen für zwei Tage zum Aushärten des Kunststoffs bei 4°C in den Kühlraum. Im Anschluss wurden sie in einer 1 %igen Waschmittellauge (10 g Waschpulver auf 1 l Wasser) für sieben Tage bei 60 °C im Wärmeschrank mazeriert, wobei die Lauge zwischendurch mehrmals kontrolliert und erneuert wurde. Nachdem

¹ Reckli GmbH, D-44628 Herne

² B. Braun Meisungen AG, D-34209 Meisungen

das gesamte Gewebe von den Knochen gelöst war, wurden diese für zwei Tage in 5 %igem Wasserstoffperoxid gebleicht und anschließend getrocknet. Die Kunststoffausgüsse wurden mit blauer Lackfarbe nachgefärbt, um eine gleichmäßige Färbung zu erzielen. Zuletzt wurden die an der Gelenkbildung beteiligten Knochen, die sich durch die Mazeration aus dem Gelenkverbund gelöst hatten, mit den Ausgüssen verklebt und die Präparate fotografiert.

3.2.2 Anfertigung der Bilder

Fotos der Gliedmaßenpräparate wurden jeweils nach Abschluss der Präparation aufgenommen. In einzelnen Fällen wurden auch Zwischenschritte fotografiert, um z. B. verschiedene Muskelschichten zu erfassen. Die Gelenkausgüsse wurden im Anschluss an ihre Fertigstellung fotografiert.

Für das Erstellen der Fotos standen zwei verschiedene Kameras zur Verfügung: eine Fuji S1 und eine Olympus E 620. Die Aufnahmen der Fuji wurden im Bildformat *.jpg direkt auf einem über ein Kabel angeschlossenen Computer gespeichert, die Fotos der Olympus in den Formaten *.jpg und *.raw zunächst auf einem Speicherchip. Die Übertragung erfolgte im Anschluss gesammelt über ein Speicherkartenlesegerät.

3.2.3 Digitale Nachbearbeitung der Bilder

Die Fotos wurden mit Adobe® Photoshop® CS4 extended, Version 11.0.2, Adobe Systems Inc., San José, Kalifornien, USA, am Computer nachbearbeitet. Die Nachbearbeitung umfasste in erster Linie das Freistellen des jeweiligen Zielobjekts, Belichtungs- und Farbkorrekturen sowie weitere Maßnahmen, die der Interaktivität des Lernprogramms dienen, wie z.B. Beschriftungen oder das farbliche Hervorheben einzelner Strukturen.

3.2.4 Anfertigung von CT-Bildern

Von der linken Vordergliedmaße eines mittelgroßen Mischlings wurden CT-Aufnahmen gemacht, um im Lernprogramm die Lage der Knochen zueinander in situ in Form einer 3D-Animation zu veranschaulichen. Die CT-Bilder wurden an der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU aufgenommen. Das dafür benutzte Gerät war ein Somatom Ar. Star (Firma Siemens AG, München und Berlin).

3.2.5 Digitale Nachbearbeitung der CT-Bilder

Ziel der Bearbeitung war die Erzeugung eines 3D-Objekts des gescannten Fußes. Damit die Knochen gut erkennbar dargestellt werden und nicht an den Gelenkspalten „zuckergussartig“ miteinander verklebt erscheinen, mussten die einzelnen Knochen in einem mehrstufigen Prozess isoliert werden. Dafür wurden die Ausgangsbilder (DICOM-Dateien), die außer den reinen Bilddaten zusätzliche unbenötigte Informationen wie Patientendaten, Scannereinstellungen und andere Parameter enthielten, zunächst mit dem Programm Dicom2³ in *.raw-Dateien umgewandelt. Die erzeugten *.raw-Dateien wurden mit dem Programm Measure, welches am Institut für Tieranatomie der LMU München entwickelt wurde, weiter bearbeitet. Mit diesem ließen sich aus den Schnittbildern die Einzelknochen als Bildstapel darstellen. Aus den so bearbeiteten *.raw-Dateien wurden schließlich mit dem Programm VTKOBJECT, einer speziell für solche Zwecke entwickelten C++-Klassenbibliothek, 3D-Rekonstruktionen erstellt und mit der zugehörigen Funktion VTKPICKOBJECT die einzelnen Knochen isoliert dargestellt. In einem letzten Schritt wurden die Einzelknochen mit dem Programm ParaView[®] 3.98.1 32-bit⁴ wieder zum vollständigen Fußskelett zusammengesetzt.

3.2.6 Programmierung des Lernprogramms

Bei der Auswahl der Programmiersprache fiel die Wahl auf die Hypertext-Markup-Language HTML, da sie sehr universell einsetzbar ist. Gearbeitet wurde mit der derzeitig aktuellen Version HTML 4.01. Layoutinformationen wurden als Cascading Stylesheets in speziellen CSS-Dateien hinterlegt, Interaktionen wurden in Javascript realisiert.

³ DICOM2 (Freeware): <http://www.barre.nom.fr/medical/dicom2/> (12.2.2014)

⁴ Sandia National Laboratories, New Mexico PO Box 5800 Albuquerque, NM 87185
Kitware Inc., 28 Corporate Drive, Clifton Park, NY 12065, USA; www.paraview.org (12.2.2014)

4 Ergebnisse

Das Lernprogramm „Die Schultergliedmaße des Hundes“ stellt einen Baustein einer neuen Reihe von Lernprogrammen dar, die sich mit der Topografie des Hundes beschäftigen. Mit Hilfe zahlreicher Abbildungen von Gliedmaßenpräparaten, mit Schemazeichnungen und CT-Bildern wird der Aufbau der Vordergliedmaße von den knöchernen Strukturen bis zu Hautanhangsgebilden dargestellt.

4.1 Lernprogramm „Die Schultergliedmaße des Hundes“

Das Lernprogramm ist in die sechs Kapitel „Knochen“, „Gelenke“, „Muskeln“, „Gefäße“, „Nerven“ und „Hautanhänge“ unterteilt. Die Gliederung ist an die allgemein übliche Einteilung in den gängigen Lehrbüchern angelehnt, um ein paralleles Lernen mit Lernprogramm und Büchern zu vereinfachen. Die Präparate wurden so erstellt, dass die Studierenden einen möglichst umfassenden Überblick über die wichtigsten Strukturen bekommen, die in den Präparierkursen bearbeitet werden sollen, sowie über solche, die in der Regel aus zeitlichen Gründen in den Kursen nicht behandelt werden und in Büchern oft nur unvollständig dargestellt werden. Vor allem wurde Wert darauf gelegt, ein Verständnis des Aufbaus der Gliedmaße und der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Themengebieten zu vermitteln. Auch wurde, sofern möglich, für jedes Thema ein Bezug zur Klinik hergestellt, um dem Lernenden die Relevanz der vorgestellten Fakten für seine spätere Arbeit zu verdeutlichen.

4.1.1 Navigation

Nach dem Starten des Programms über die Datei „start.html“ wird der Standardbrowser geöffnet und eine vorgeschaltete Startseite des Programms angezeigt. Von dieser aus erfolgt der Start des eigentlichen Lernprogramms in einem eigenen Browserfenster.



Abb. 1: Programmstart im Browser

Hierfür müssen Popups freigeschaltet sein. Ist dies nicht der Fall, so kann der Benutzer den Hinweisen zum Freischalten nachgehen, die auf einer gesonderten Hilfeseite angeboten werden. Zu dieser gelangt man über einen Link von der vorgeschalteten Startseite.

Sind Popups freigegeben, wird im neuen Browserfenster die Startseite des eigentlichen Lernprogramms angezeigt.



Abb. 2: Startseite des Lernprogramms

Im oberen Bereich des Fensters sind die einzelnen Themenbereiche in Form von kleinen Grafiken und Text angezeigt; durch Anklicken der Grafik oder des Textes wählt der Benutzer einen Themenbereich aus, woraufhin eine Auflistung von

Unterkapiteln zu dem Themengebiet erscheint. Klickt man eines von diesen an, so gelangt man auf die Startseite des entsprechenden Unterkapitels.



Abb. 3: Kapitelstartseite

Innerhalb des Unterkapitels bewegt sich der Lernende mit Hilfe von Hyperlinks oder von Navigationsbuttons, die ein Vorwärts- und Rückwärtsblättern ermöglichen. Der Lerner kann außerdem von jeder Seite des Programms zur Startseite des gerade bearbeiteten oder eines anderen Themengebiets wechseln und sich so seinen Lernpfad individuell gestalten.

Im unteren Fensterbereich der Startseite befinden sich Verlinkungen zu den allgemeinen Funktionen Index, Anhang und Navigationshilfe (siehe Abb. 3).

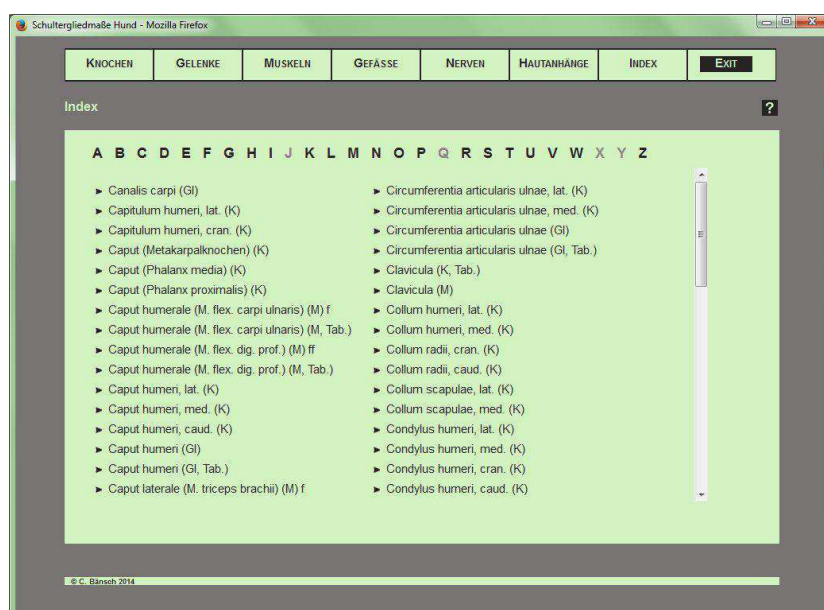


Abb. 4: Index

Der Index enthält eine Auflistung aller im Lernprogramm vorkommenden Strukturen in Form von Hyperlinks, über die das entsprechende Kapitel direkt angesteuert werden kann.

Im Anhang befinden sich eine Auflistung der verwendeten Fachliteratur sowie das Abkürzungsverzeichnis.

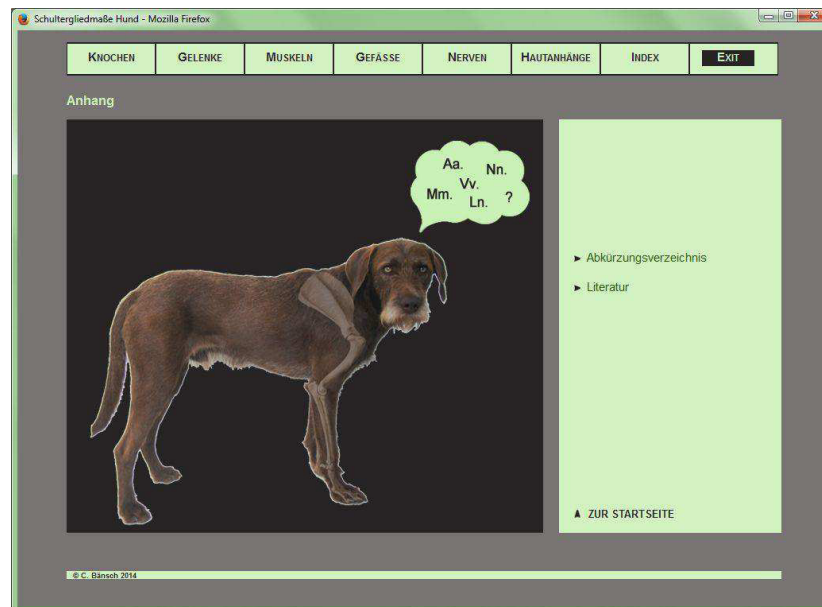


Abb. 5: Anhang

Die Navigationshilfe bietet einen Überblick über alle wichtigen Funktionen zur Steuerung durch das Lernprogramm.

Die einzelnen Kapiteelseiten sind i.d.R. so aufgebaut, dass sich links eine Grafik befindet und rechts daneben der beschreibende Text.

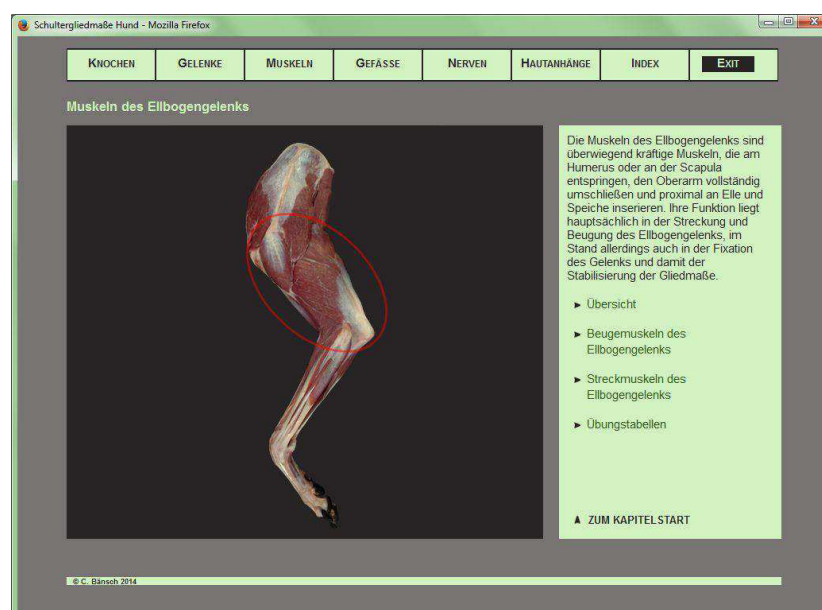


Abb. 6: Programmseite Muskeln

Im sonst schwarzen Text sind dunkelgrüne Hyperlinks eingebaut. Beim Überfahren mit der Maus erscheinen sie unterstrichen. Diese Links können zu einem Wechsel der Grafik im linken Bildschirmbereich führen, oder wie ein klassischer Hyperlink auf eine andere Seite verweisen. Diese beiden Funktionen unterscheiden sich im Verhalten des Mauszeigers: Im ersten Fall bleibt dieser ein Pfeil, im zweiten wird er zu einer Hand.

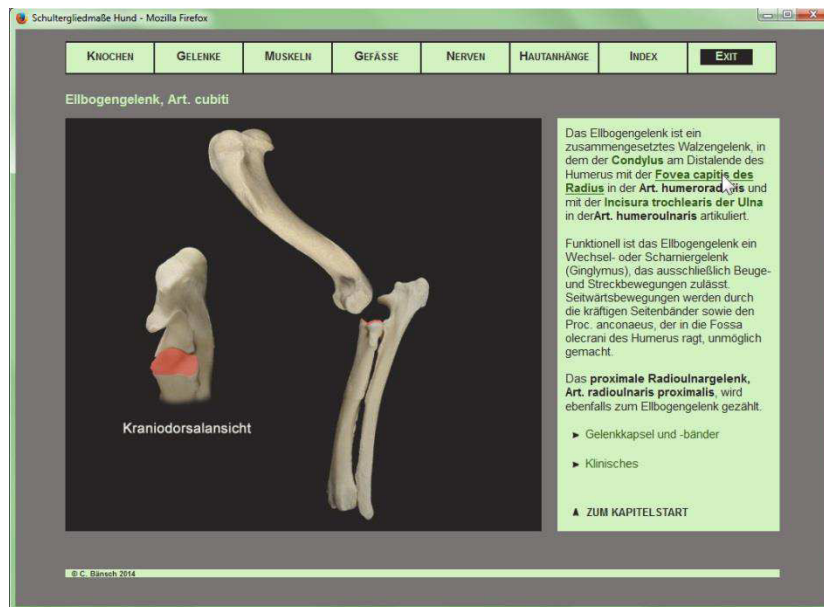


Abb. 7: Mouseover mit Grafikwechsel



Abb. 8: Mouseover mit Link auf andere Seite

Auf einigen Seiten stehen Vergrößerungen der dargestellten Strukturen zur Verfügung. Diese werden durch das Anklicken eines Links im rechten Bildschirmbereich unterhalb des Textes in einem neuen Browserfenster geöffnet.

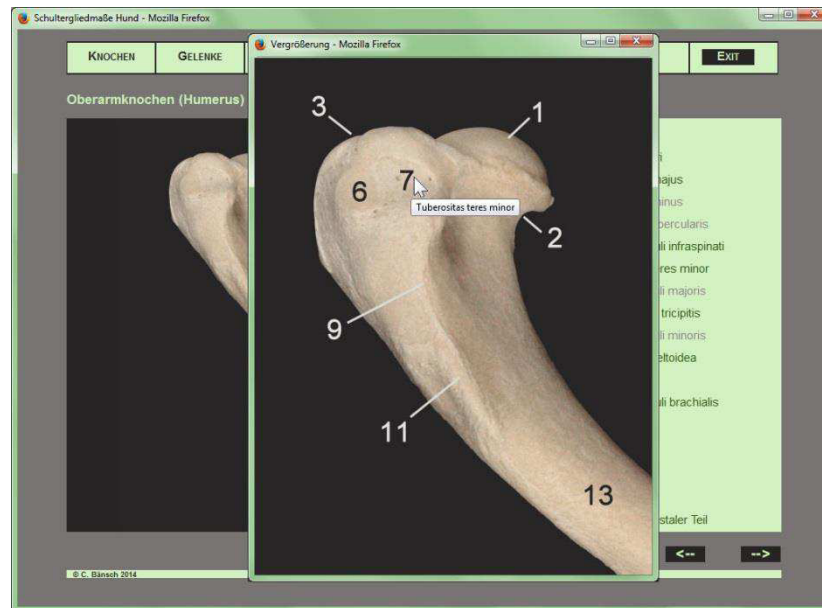


Abb. 9: Ausschnittsvergrößerung

4.1.2 Übungstabellen

Zu jedem Thema mit Ausnahme der Hautanhänge gibt es Übungstabellen, die die wichtigsten Inhalte des Kapitels oder Unterkapitels in knapper Form zusammenfassen und dem Lerner die Möglichkeit bieten, das Gelernte zu üben.

Schultergliedmaße Hund - Mozilla Firefox

KNOCHEN GELENKE MUSKELN GEFÄSSE NERVEN HAUTANHÄNGE INDEX EXIT

Muskulatur des Schultergelenks - Übungstabelle 1/2

Name	Ursprung	Ansatz	Funktion	Innervation
M. supraspinatus	- Fossa supraspinata - Spina scapulae - Margo cranialis	Tuberculum majus	- Feststellen des Schultergelenks - Streckung des Schultergelenks	N. suprascapularis
M. infraspinatus	- Fossa infraspinata - Spina scapulae - Margo caudalis - Ursprungsaponeurose des M. deltoideus	Facies musculi infraspinati	- laterales Seitenband des Schultergelenks (kontraktiler Spannbänder) - eingeschränkt Abduktion und Supination des Oberarms - Beugung bei gebeugtem Schultergelenk, Streckung bei mehr gestrecktem Gelenk	N. suprascapularis
M. deltoideus	Pars scapularis: Spina scapulae Pars acromialis: Acromion	Tuberositas deltoidea	- Beugung des Schultergelenks - Abduktion und Rotation der Gliedmaße	N. axillaris
M. teres minor	Margo caudalis, distales Drittel, v.a. Tuberculum infraglenoidale	Tuberositas teres minor	Beugung des Schultergelenks	N. axillaris

© C. Bänisch 2014

Abb. 10: Übungstabelle

Im Muskelkapitel zum Beispiel steht in der linken Spalte der Muskel, in den weiteren Spalten befinden sich Angaben zu Ursprung, Ansatz, Innervation und Funktion des Muskels. Zum Üben kann der Lerner den Inhalt aller Tabellenspalten außer der ersten (in diesem Fall Name des Muskels) über den Button „Inhalt ausblenden“ unsichtbar machen. Das erneute Einblenden des Inhalts kann nun auf zwei Wegen erfolgen:

1. Der Lerner klickt auf den Button „Inhalt einblenden“ → der komplette Tabelleninhalt wird angezeigt.
2. Der Lerner klickt in eine einzelne Tabellenzelle → nur deren Inhalt erscheint.

Name	Ursprung	Ansatz	Funktion	Innervation
M. supraspinatus	- Fossa supraspinata - Spina scapulae - Margo cranialis			
M. infraspinatus	- Fossa infraspinata - Spina scapulae - Margo caudalis - Ursprungsaponeurose des M. deltoideus			
M. deltoideus		Tuberositas deltoidea		
M. teres minor			Beugung des Schultergelenks	N. axillaris

Abb. 11: Übungstabelle mit teilweise eingblendetem Text

Die genaue Tabellenfunktion kann jederzeit über den Hilfe-Button, symbolisiert durch ein „?“, in der rechten oberen Ecke der Seite aufgerufen werden.

4.1.3 Quiz

Zu jedem Themengebiet gibt es ein Quiz mit einem Fragenquerschnitt aus allen Bereichen des Themengebiets zum Selbsttest des Erlernten. Ein Quiz setzt sich aus ein bis fünf Teilen mit jeweils zehn Fragen zusammen.



Abb. 12: Quizauswahl

Es gibt drei verschiedene Aufgabentypen. Bei den sogenannten "Single Choice"-Aufgaben ist genau eine Antwortmöglichkeit richtig. Sie sind durch runde Auswahlbuttons gekennzeichnet, von denen sich jeweils nur einer gleichzeitig anwählen lässt.

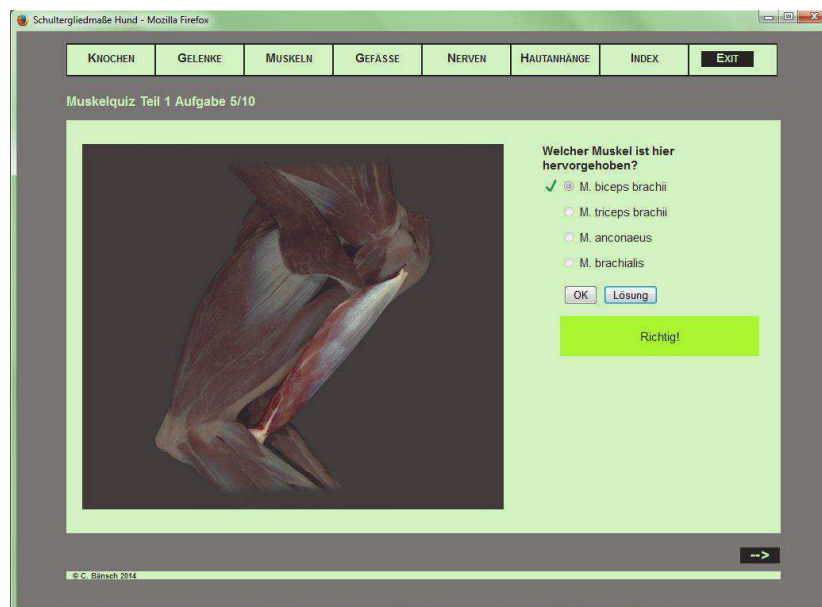


Abb. 13: Single Choice-Aufgabe

Bei den "Multiple Choice"-Aufgaben, die an rechteckigen Auswahlkästchen zu erkennen sind, können eine oder mehrere Antwortmöglichkeiten richtig sein.

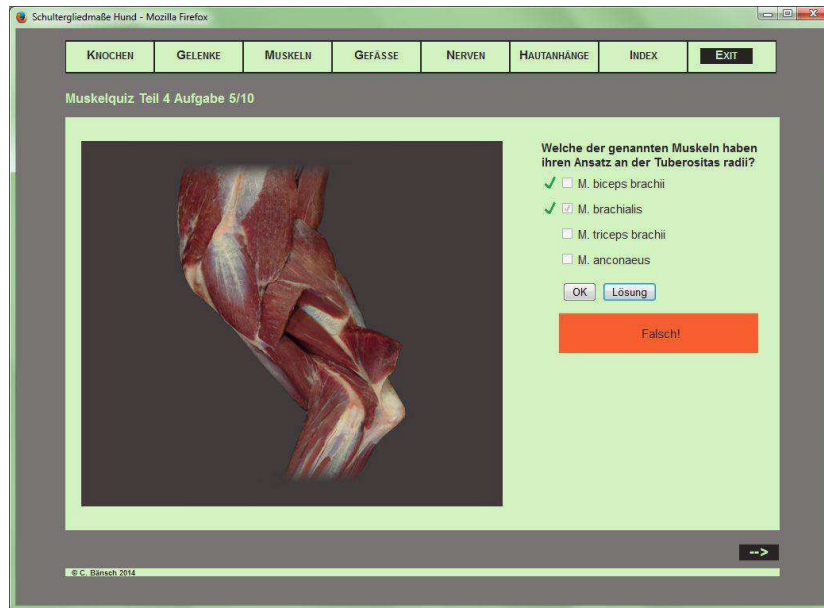


Abb. 14: Multiple Choice-Aufgabe

Beim dritten Aufgabentyp, den sogenannten "Hot-Spots", müssen Strukturen durch Anklicken im Bild identifiziert werden.

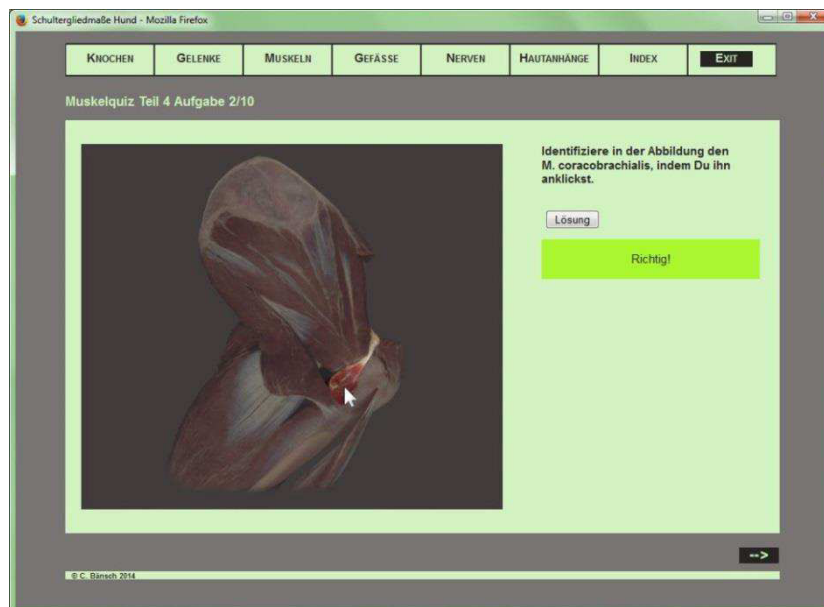


Abb. 15: Hot-Spot-Aufgabe

Durch Klick auf den Button „OK“ wird die Aufgabe ausgewertet und angezeigt, ob die Frage richtig oder falsch beantwortet wurde.

Für jede Aufgabe hat der Lerner einen Versuch, die Auswahlbuttons und der OK-Button werden nach der Auswertung inaktiv. Der Button "Lösung" bietet dem Lerner die Möglichkeit, sich die richtige Lösung anzeigen zu lassen, was vor allem bei Falschbeantwortung der Frage von Bedeutung ist (siehe Abb. 14).

Fragen können nicht übersprungen werden, sondern müssen in der Reihenfolge, in der sie präsentiert werden, abgearbeitet werden.

Am Ende des Quiz erfolgt eine Auswertung des Quizteils. So hat der Lerner einen Überblick über seinen aktuellen Lernstand.



Abb. 16: Quizauswertung

Die Quizanleitung kann jederzeit über den Hilfe-Button, symbolisiert durch ein „?“, in der rechten oberen Ecke einer Quizauswahlseite oder einer Quizstartseite aufgerufen werden (siehe Abb. 12).

4.1.4 Kapitel Knochen

Im Kapitel Knochen wird zunächst ein Überblick über die Knochen der Schultergliedmaße gegeben, wobei jeweils der Knochen eines „normalwüchsigen“ Hundes neben dem eines chondrodystrophen Hundes (Dackels) dargestellt ist, um die Variation innerhalb der Art zu verdeutlichen.

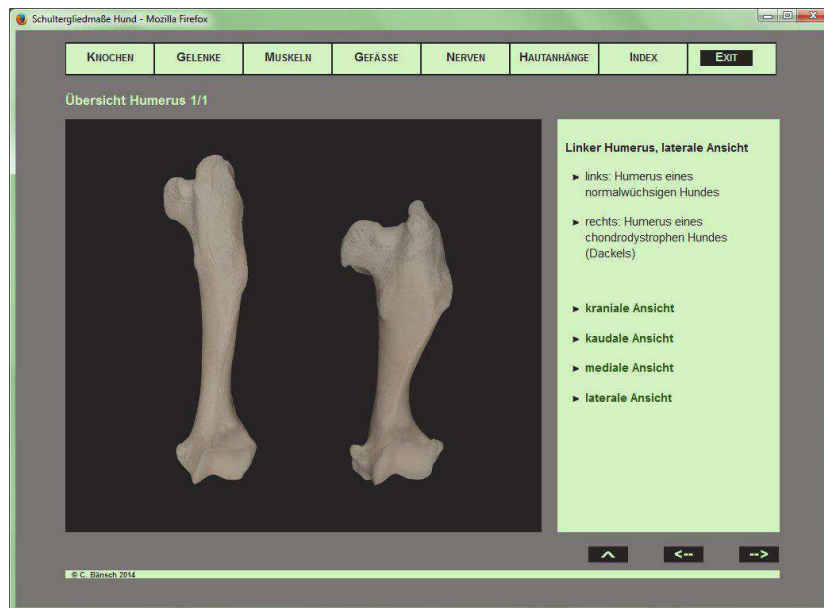


Abb. 17: Programmseite Knochen - Überblick

In den weiteren Unterkapiteln werden die einzelnen Knochen im Detail vorgestellt. Dabei befindet sich im linken Bildbereich ein Foto des Knochens, im rechten Bereich eine Auflistung aller an diesem Knochen befindlichen Strukturen.

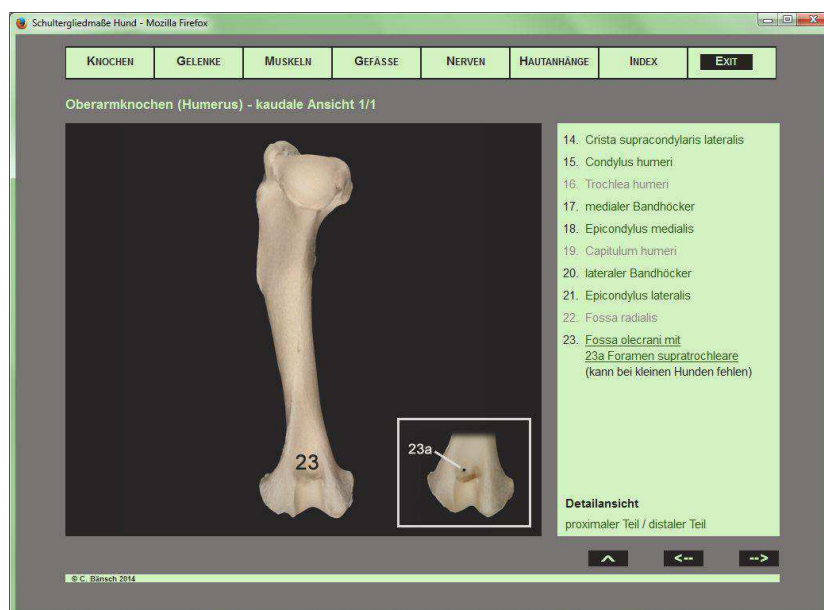


Abb. 18: Programmseite Knochen - Humerus

Die Liste ist in Form von Hyperlinks gestaltet, so dass beim Überfahren eines Begriffs mit der Maus die entsprechende Struktur im Bild hervorgehoben wird, zum Beispiel durch eine farbliche Markierung. Ist eine Struktur auf dem Foto nicht sichtbar, so ist der Link inaktiv, was durch eine hellgraue Textfarbe erkennbar ist.

Um alle Strukturen zu erfassen, wurde jeder Knochen in mindestens zwei verschiedenen Ansichten dargestellt. Auf den meisten Seiten können über Links unterhalb der Strukturenliste Ausschnittvergrößerungen des Knochenfotos

aufgerufen werden, so dass der Lerner die einzelnen Strukturen im Detail betrachten kann (siehe Abb. 9).

4.1.5 Kapitel Gelenke

Im Kapitel Gelenke werden alle Gelenke der Schultergliedmaße anhand zahlreicher Fotos dargestellt. Wieder ist im linken Bildbereich ein Foto zu sehen, während der Text sich rechts daneben befindet. Da hier komplexe Sachverhalte vermittelt werden, wurde in diesem Kapitel mit Fließtext gearbeitet. Schlagwörter für besondere Strukturen sind analog zu den Listeneinträgen im Kapitel „Knochen“ in Form von Hyperlinks dargestellt, bei deren Überfahren mit der Maus das Bild auf der linken Bildschirmseite wechselt (siehe Abb. 7).

Jedes Unterkapitel beginnt mit der Art des Gelenks, den beteiligten Knochen und deren Strukturen, die das Gelenk bilden. Im Weiteren werden die Besonderheiten der Gelenkkapsel sowie die Bänder des Gelenks beschrieben. Abgerundet wird das Kapitel durch die fotografische Darstellung der Punktionsstellen der punktierbaren Gelenke und durch die Beschreibung weiterer klinischer Fakten.

4.1.6 Kapitel Muskeln

Das Kapitel Muskeln setzt sich aus den Unterkapiteln Schultergürtelmuskulatur, Muskeln des Schultergelenks, Muskeln des Ellbogengelenks, Muskeln der Radioulnargelenke, Muskeln des Vorderfußes, Faszien sowie Statik und Dynamik zusammen. Jedes der Unterkapitel mit Ausnahme der beiden letztgenannten ist weiter in logische Gruppen (zum Beispiel Extensoren und Flexoren des Karpal- und der Zehengelenke) unterteilt. Innerhalb dieser Gruppen wird jeder Muskel einzeln beschrieben. Bei der Eigenmuskulatur der Gliedmaße gibt es zusätzlich einen Überblick über die Muskeln, um ihre Lage an der Gliedmaße zu veranschaulichen.

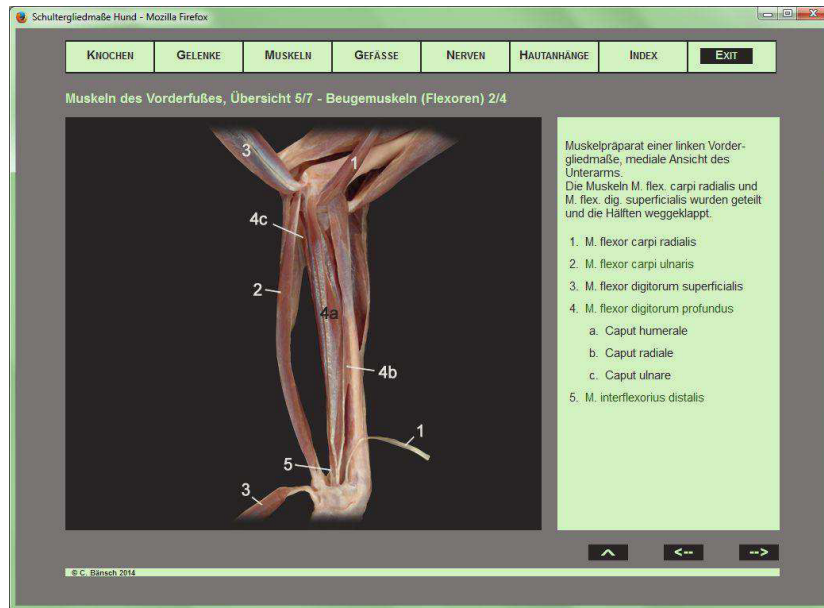


Abb. 19: Programmseite Muskeln - Übersicht

Sofern synoviale Einrichtungen für einen Muskel existieren, werden diese auf Extraseiten präsentiert. Ausbuchtungen von Gelenkkapseln werden mit Hilfe von Projektionen von Gelenkaussgusspräparaten auf das passende Muskelpräparat dargestellt, Sehnnenscheiden und Schleimbeutel sind schematisch in die Fotos eingezeichnet.

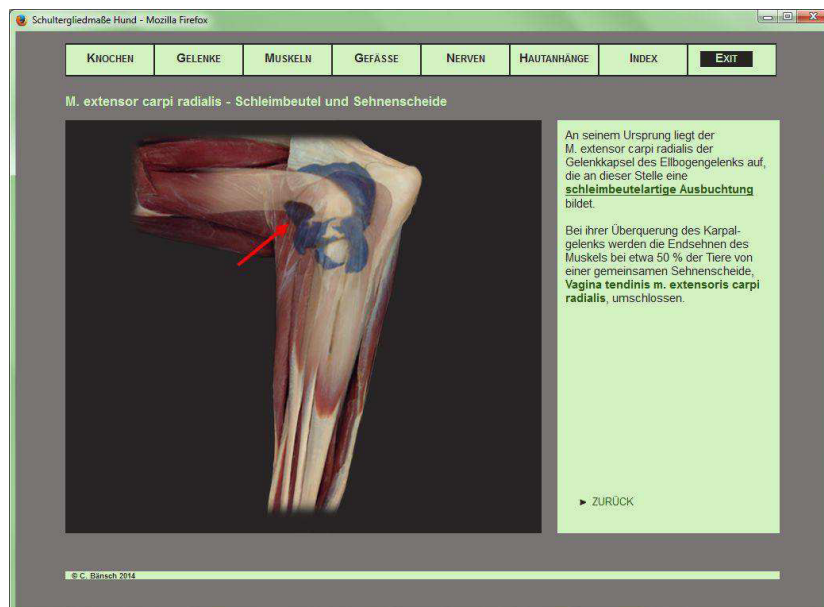


Abb. 20: Programmseite Muskeln: Schleimbeutel

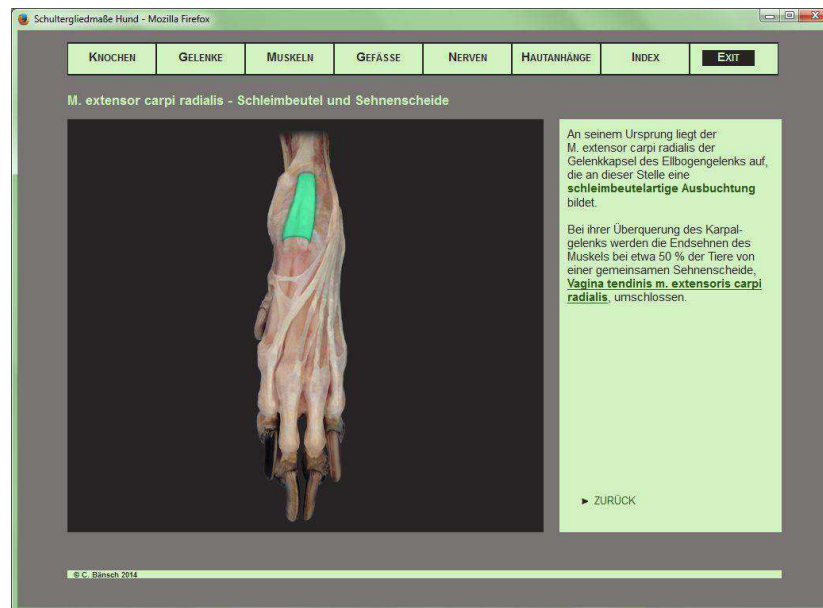


Abb. 21: Programmseite Muskeln: Sehnenscheiden

4.1.7 Kapitel Gefäße

Das Kapitel Gefäße umfasst die drei Unterkapitel Arterien, Venen und Lymphsystem der Schultergliedmaße. Die Darstellung der Arterien und der Venen erfolgt in Form von Übersichtslisten, die durch Schemazeichnungen und, sofern vorhanden, durch Fotos ergänzt sind.

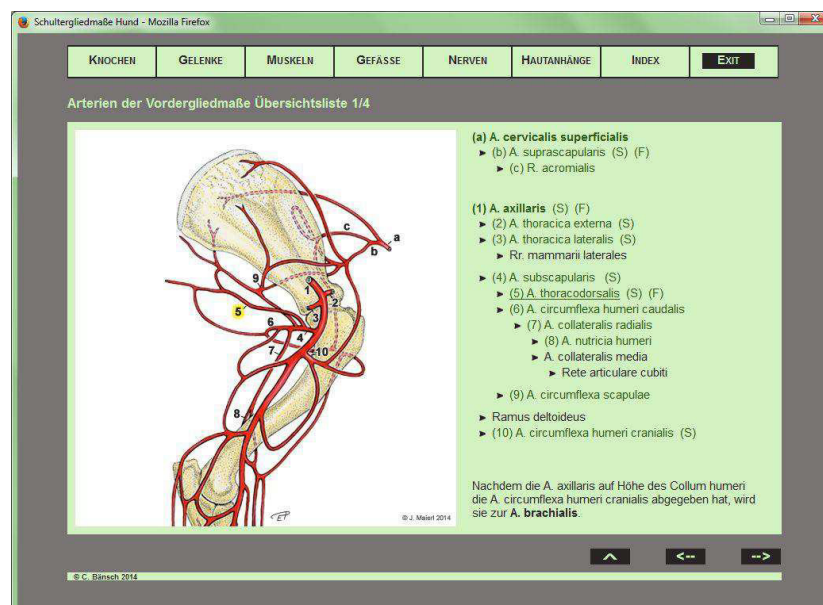


Abb. 22: Programmseite Gefäße

Hier wurde bewusst auf eine ausformulierte Beschreibung der Gefäßverläufe verzichtet, weil diese für das Verständnis des Lerner eher hinderlich als hilfreich wäre. Gefäßspezifische Besonderheiten wurden stattdessen in die Übungstabelle

einbezogen. Die Bezeichnungen der einzelnen Gefäße sind, soweit diese in der nebenstehenden Grafik dargestellt sind, als Hyperlinks realisiert, so dass das zugehörige Gefäß beim Überfahren des Begriffs mit der Maus in der Grafik hervorgehoben wird. Sind weitere Ansichten eines Gefäßes in Form von Fotos oder anderer schematischer Darstellungen verfügbar, so sind diese durch zusätzliche Links hinter dem Begriff dargestellt.

In diesem Kapitel wurde auf Vergrößerungen verzichtet, weil das Hauptaugenmerk bei den Gefäßen auf deren Verlauf entlang der Gliedmaße liegt und eine Detailansicht keinen zusätzlichen Wissensgewinn mit sich bringt.

Informationen zum Lymphsystem werden hauptsächlich in Textform abgehandelt und durch eine Übersicht über die Lage der Lymphknoten am lebenden Tier ergänzt.

4.1.8 Kapitel Nerven

Im Nervenkapitel wird zunächst eine allgemeine Einführung zu den Spinalnerven gegeben, um den Plexus brachialis in das Periphere Nervensystem einzuordnen. Im Anschluss werden der Plexus brachialis und die zwölf Nerven, die ihm entstammen und die Schultergliedmaße versorgen, im Detail beschrieben. Analog zum Muskelkapitel erfolgt die Beschreibung in Form von Fließtext, in den Hyperlinks eingearbeitet sind, die einen Bildwechsel bewirken, um spezielle Strukturen zu zeigen. Die grafische Dokumentation der Nervenverläufe erfolgte mit Hilfe von Fotos und Schemazeichnungen.

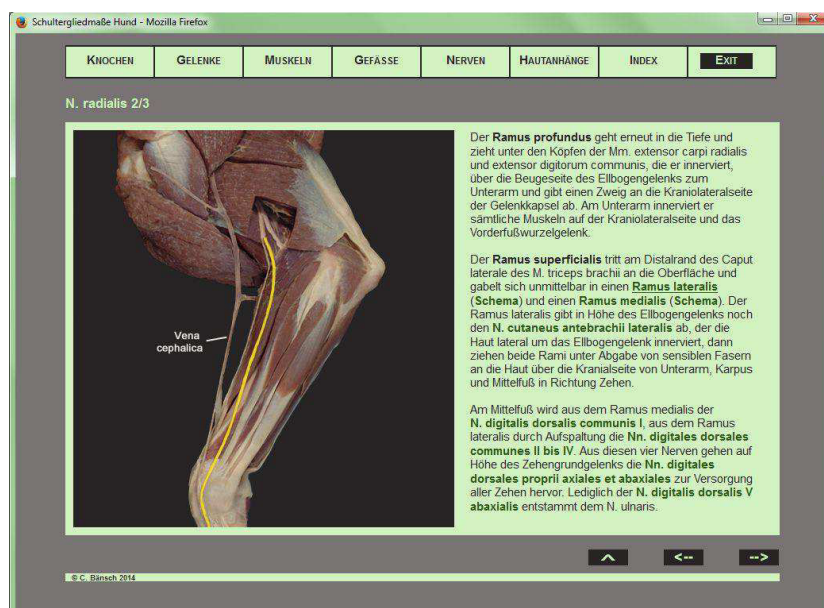


Abb. 23: Programmseite Nerven

Abgerundet wird das Kapitel durch einen kurzen Überblick über die Krankheitsbilder, die durch die Schädigung eines oder mehrerer Plexusnerven entstehen können.

4.1.9 Kapitel Hautanhänge

Das Kapitel Hautanhänge bietet in kurzer, übersichtlicher Form einen Einblick in die beiden Themengebiete Ballen und Krallen. Es besteht zum überwiegenden Teil aus Text, der durch einige Grafiken ergänzt wird.

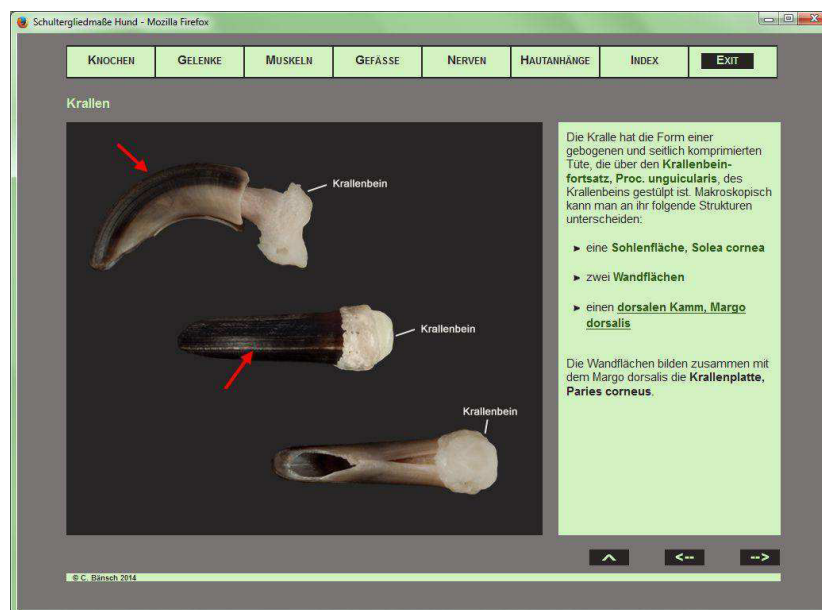


Abb. 24: Programmseite Hautanhänge

4.2 Präparate

Unabhängig von der vorliegenden Dissertation wurden die im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Muskelpräparate und topografischen Plexuspräparate nach Abschluss der Arbeiten plastiniert. Finanziert wurde die Plastination aus Studienbeiträgen. Die Plastinate stehen nun den Studenten zur Verfügung. Sie kommen sowohl in den Vorlesungen als auch in Kursen und bei Prüfungen zum Einsatz. Sie dienen als Anschauungsobjekte für Strukturen, die die Studenten aus Zeitmangel nicht selbst präparieren können oder als Vorlage für das eigene Präparieren. Für einen Teil der Präparate wurden von Frau Nicole Paulin besondere Fotokarten angefertigt, auf denen die wichtigen Strukturen beschriftet sind.

Die Gelenkaussüsse werden künftig in der anatomischen Sammlung ausgestellt werden.

5 Diskussion

5.1 Traditionelle Lehr- und Lernmethoden: Vor- und Nachteile

Als traditionelle Lehr- und Lernmethoden an der Universität sind Printmedien wie Bücher und Skripte und Präsenzveranstaltungen wie Vorlesungen und Übungen zu nennen.

Bücher und Skripte bieten die Vorteile, dass sie überall hin mitgenommen werden können, dass gedruckte Texte besser und schneller gelesen werden können als Text am Bildschirm und dass der Lerner wichtige Stellen im Text markieren kann, sofern ihm das Lernmaterial gehört.

Zu den Nachteilen von Printmedien gehört, dass ein Suchen von Schlagwörtern umständlich ist und dass das Lernen meist nur linear erfolgen kann. Auch können bei einer großen Themendichte manche Aspekte nur oberflächlich abgehandelt werden, um den Umfang eines Buches nicht zu sprengen, wodurch es teuer, unhandlich und dadurch für potentielle Käufer unattraktiv werden könnte.

Präsenzveranstaltungen zeichnen sich durch eine hohe Lerneffektivität aus und stellen derzeit die einzige Möglichkeit dar, handlungsorientierte Prozesse zu vermitteln. Außerdem ist die soziale Komponente durch die Interaktion mit Kommilitonen und Dozenten nicht zu unterschätzen. So kann ein Dozent flexibel auf Fragen eingehen und komplexe Informationen/Zusammenhänge für alle verständlich vermitteln. Auch kann er Forschungsergebnisse, die durch ihre Aktualität noch nicht in die Lehrbücher eingebunden werden konnten, in seine Veranstaltung integrieren. Demgegenüber stehen die Kosten und die örtliche und zeitliche Begrenzung von Präsenzveranstaltungen, die ein Lernen in individueller Geschwindigkeit unmöglich machen. Der Studierende ist also stets darauf angewiesen, den Stoff der Veranstaltung selbständig vor- und oder nachzubereiten.

5.2 Computergestütztes Lernen: Vor- und Nachteile

E-Learning bietet sowohl für den Nutzer (Studierenden) als auch für den Anbieter von Lehrmedien viele Vorteile, wie eine Studie von RUF et al. (2008) gezeigt hat. Die meiner Ansicht nach wichtigsten Punkte sind in folgender Tabelle zusammengefasst.

Vorteile für den Lerner	Vorteile für den Anbieter
<ul style="list-style-type: none"> • Zeitliche und örtliche Flexibilität • Flexible Lerngeschwindigkeit • Zugriff auf weiterführende Informationen über Hyperlinks (WBT) • Individualisiertes, selbstgesteuertes Lernen • Exploratives, nicht-lineares Lernen • Interaktionsmöglichkeiten • Unmittelbares Feedback 	<ul style="list-style-type: none"> • Einfache Verbreitung • Einfaches Update (WBT) • kostengünstig (keine teuren Printmedien) • Standardisierung der Lerninhalte

Tab. 3: Vorteile von E-Learning, aus (RUF et al., 2008), gekürzt

Die Nachteile von E-Learning ergeben sich aus den Vorteilen der traditionellen Lernmethoden. So ist der Lerner stets allein mit seinem Lernprogramm und kann sich nicht mit einem Dozenten oder anderen Studenten austauschen. Auch ist die Möglichkeit zur Vermittlung praktischer Fähigkeiten bei Lernprogrammen nicht oder nur unzureichend gegeben.

Somit ist ein Mix aus selbständigem Lernen mit Hilfe von E-Learning-Angeboten und Präsenzveranstaltungen (Blended Learning) der beste Weg zu einer qualitativ hochwertigen Ausbildung.

5.3 CUL an der Tierärztlichen Fakultät der LMU

Im Juni 2010 wurde von Bund und Ländern der „Qualitätspakt Lehre zur Verbesserung der Studienbedingungen und der Lehrqualität“ beschlossen (KMK und GWK, 2012). Einen Beitrag hierzu können sicherlich E-Learning-Angebote leisten, indem sie die Möglichkeit zum eigenständigen, individuellem Lernen bieten, damit eine sinnvolle Ergänzung von Präsenzveranstaltungen bieten und somit den wachsenden Studentenzahlen gerecht werden.

An der Tierärztlichen Fakultät der LMU München wurden in den letzten Jahren zahlreiche computerunterstützte Lernprogramme realisiert. So entstanden am Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie z.B. Programmen wie „INSIDEDOG: THE HEAD - Virtuelle Realität in der Veterinäranatomie“ (BLANCK, 2003), „BovineDigit: ein multimediales 3D Lernprogramm“ (ZENGERLING, 2004), „Computer basiertes Lernprogramm über die physikalisch-technischen Grundlagen der Sonografie beim Kleintier“ (STRECK, 2004), „Multimediales Lernprogramm zur

Sonografie von Milz, Leber und Pankreas bei gesunden Hunden und Katzen“ (HOCKE, 2005) und „Der Pferdekopf - ein interaktives Lernprogramm“ (ALBERT, 2010). Auch an anderen Lehrstühlen wurden entsprechende Programme entwickelt, unter anderem „Erstellung eines computergestützten Lernprogramms zum Ausdrucksverhalten des Hundes“ (HINDERBERGER, 2008) am Lehrstuhl für Tierschutz, Verhaltenskunde, Tierhygiene und Tierhaltung und „Entwicklung eines multimedialen Lernprogramms zum Thema „Ektoparasiten bei Klein- und Heimtieren“ (SCHMIDT, 2005) oder „Eine Multimedia-Lern-CD-ROM - Parasitosen des Nutzgeflügels und der Ziervögel unter praxisrelevanten Bedingungen“ (THIEDE, 2004) am Lehrstuhl für Vergleichende Tropenmedizin und Parasitologie. Die meisten Programme wurden bislang von den Instituten und Kliniken selbst zur Verfügung gestellt. Dort können sie ausgeliehen oder gegen einen Unkostenbeitrag käuflich erworben werden (BIELOHUBY et al., 2004). Seit Einführung des Studienportals stehen den Studierenden auch darüber Programme zur Verfügung, wie z. B. SonoBasics, ein Lernprogramm zur abdominalen Sonografie bei Hund und Katze (FLASWINKEL, 2011). Einen Schwachpunkt stellt derzeit die Publikation und „Bewerbung“ dieser Angebote dar. Nach einer Erhebung von BIELOHUBY et al. (2004) besteht von Seiten der Studierenden ein deutlicher Wunsch/Bedarf an Lernprogrammen. Jedoch wird weder in Veranstaltungen noch auf den Homepages der Institute und Kliniken auf die zur Verfügung stehenden Lernprogramme hingewiesen. Einzige Ausnahme bildet die Klinik für Wiederkäuer, die E-Learning-Angebote als obligatorischen Bestandteil in die klinische Rotation eingegliedert hat. So muss jeder Student während des sechswöchigen Rotationsblocks fünf „Reproduktionsmedizinische CASUS-Fälle in der Tiermedizin“ bearbeiten. Diese wurden von Dr. O. Stadler und J.-P. Ehlers erstellt und gepflegt und werden über die virtuelle Hochschule Bayern (vhb⁵) angeboten (EHLERS und STADLER, 2013). Ein Verweis sowie eine genaue Anleitung zur Anmeldung und Durchführung befindet sich auf der Homepage der Klinik für Wiederkäuer (STADLER, 2013). Eine ähnliche Einbindung in die Lehre wäre für alle bisher realisierten und noch kommenden Lernprogramme wünschenswert.

⁵ <http://www.vhb.org/> (16.02.2014)

5.4 Das Lernprogramm „Die Schultergliedmaße des Hundes“

Das Lernprogramm ist das zweite Programm einer einheitlichen Reihe zu ausgewählten Kapiteln aus der Anatomie der Haussäugetiere. Den Anfang hat das Programm von Dr. Isabel Albert, „Der Pferdekopf – ein interaktives Lernprogramm“ (ALBERT, 2010) gemacht. Nun sollen Programme zur Schulter- und Beckengliedmaße sowie zum Rücken des Hundes folgen. Damit die Programme sowohl optisch als auch funktionell als Programmreihe erkennbar sind, die jederzeit erweitert werden kann, wurde eine möglichst einfache und zukunftsfähige Art der Realisierung gesucht. Diese fand sich in der Web-Programmierung mittels HTML, Cascading Stylesheets (CSS) und JavaScript. Als standardisierte Programmiersprache ist HTML unabhängig von der Hardware- und Softwareumgebung und kann in jedem gängigen Browser abgespielt werden, der die Standards des World Wide Web Consortiums (W3C) umsetzt. Sie benötigt keine spezielle Software zur Programmierung, sondern kann in jedem einfachen Texteditor bearbeitet werden, ist auch für Laien gut erlernbar, was für die Erstellung und Pflege durch Nicht-Informatiker wichtig ist, und eignet sich sowohl für online- wie offline-Anwendungen. In HTML lassen sich alle Arten von Medien wie Grafiken, Videos oder Flashanwendungen einbetten. Erweiterungen oder Änderungen am Programm lassen sich durch den bausteinartigen Aufbau des Programms leicht umsetzen. Auch Layoutanpassungen können aufgrund der zentralen Verwaltung der Layoutinformationen in Cascading Stylesheets (CSS) schnell erfolgen. Interaktive Prozesse wie Quizaufgaben oder dynamische Bildwechsel, die mittels JavaScript realisiert wurden, lassen das Programm lebendig wirken. Die zugehörigen Funktionen sind wie die Stylesheets zentral hinterlegt und können leicht für das gesamte Programm angepasst werden.

Zum Thema Schultergliedmaße des Hundes existieren bereits weitere Programme:

1. „Virtual Canine Anatomy“

Es handelt sich hierbei um ein englischsprachiges Programm der Colorado State University, College of Veterinary Medicine & Biomedical Sciences, welches, auf mehrere Kapitel aufgeteilt, die vollständige Anatomie des Hundes behandelt (COLLEGE OF VETERINARY MEDICINE & BIOMEDICAL SCIENCES, 2012). Zum Bearbeiten wird der Adobe® Flash® Player benötigt, ein Player zum Abspielen von Audio- und Videodateien. Die Software wird zwar mit dem Programm mitgeliefert, zu seiner Installation braucht der Anwender jedoch entsprechende Rechte.

Das gesamte Programm ist aufwändig gestaltet und sehr informativ. Die gezeigten Präparate stellen detailliert die systematische und topographische Anatomie der Vordergliedmaße dar, jedoch ist die fotografische Präsentation nicht optimal, was das gesamte Erscheinungsbild beeinträchtigt. Der Teil des Programms, der sich mit der Vordergliedmaße beschäftigt („Thoracic Limb“) behandelt im Unterkapitel „Osteology“ die Knochen und Gelenke anhand von Knochenpräparaten. Im Kapitel „Thoracic Limb Dissection“ werden anhand von Muskelpräparaten und topografischen Präparaten in einzelnen Präparierschritten die Muskeln, Nerven und Gefäße der Schultergliedmaße präsentiert. Daneben gibt es ein Unterkapitel zum Thema Richtungsbezeichnungen („Directional Terms“) und ein „Self Quiz“.

Ähnlich wie im vorliegenden Programm wird auf jeder Bildschirmseite ein Bild mit einer nebenstehenden Liste der auf dem Bild sichtbaren Strukturen angezeigt. Durch Anklicken eines Begriffs aus der Liste wird die zugehörige Struktur im Bild hervorgehoben und zusätzliche Informationen im unteren Bildschirmbereich angezeigt. Die Begriffe in der Liste sind innerhalb ihrer Gruppe (Muskeln, Nerven etc.) alphabetisch geordnet, nicht systematisch, wie zu erwarten wäre. Bis auf die Muskelbezeichnungen wird nicht mit den Termini der NAV, sondern mit den englischen Begriffen für die einzelnen Strukturen gearbeitet, auch in der Suchfunktion und den Quizaufgaben, was deren Handhabung gerade bei Aufgaben mit Texteingabe für Nicht-Muttersprachler erheblich erschwert.

Bei den Gelenken hat man sich auf die Vorstellung der beteiligten Knochenstrukturen beschränkt; der Bandapparat oder die Gelenkkapseln finden keine Erwähnung. Ebenso wenig werden synoviale Einrichtungen der Muskeln strukturiert behandelt.

2. Anatomia Canis – Ein englischsprachiges Video von der Szent Istvan University, Dept. of Anatomy and Histology, ©1999“ (WORLDCAT, 1999)

Hierbei handelt es sich um ein Multimedia-Programm, das aus zwei Teilen besteht: „Teil I: Extremitas cranialis umfasst ein 45 minütiges Video mit Tonaufzeichnungen, ergänzt durch ca. 200 Standbilder mit ausführlicher Beschriftung zur anatomischen Sezierung der Vordergliedmaße des Hundes. Teil II: Extremitas caudalis behandelt analog die Sezierung der Hintergliedmaße des Hundes.“ (INTERNICHE, 2012) Das Programm liegt in den Sprachen Ungarisch, Englisch und Deutsch vor.

Allein durch seinen Aufbau als Video mit Standbildern ist das Programm nicht mit dem vorliegenden Programm vergleichbar.

3. »Die Vordergliedmaße des Hundes« – ein interaktives Lernprogramm für Veterinärmediziner«

Dieses Lernprogramm wurde 2003 am Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie der Tierärztlichen Fakultät der LMU von Frau Dr. J. Friker erstellt und ist über die Computer im CIP-Pool der Tiermedizinischen Fakultät (EDV-Raum für Studenten) verfügbar. Im Jahr 2003 wurde es unter dem Titel „Schultergliedmaße des Hundes - ein interaktiver Atlas“ veröffentlicht (EHLERS und FRIKER, 2003). Die technische Realisation erfolgte mit der Software ToolBook von der Firma SumTotal Systems Inc.⁶ (EHLERS und FRIKER, 2003).

Inhaltlich umfasst der interaktive Atlas die Kapitel „Knochen“, „Gelenke“, „Muskelverlauf“, „Muskeln“, „Röntgenbilder“ und „Ultraschallbilder“. In jedem der Kapitel werden anhand einiger Bilder die verschiedenen Strukturen des jeweiligen Gliedmaßenteils (Knochen, Muskelpräparat etc.) gezeigt. Hintergrundinformationen oder Verweise auf klinische Aspekte werden nicht gegeben.

Der interaktive Atlas beinhaltet auch ein Quiz. Dieses besteht aus einer Ansammlung nicht thematisch geordneter Fragen, die in beliebiger Reihenfolge bearbeitet werden können. Eine übergeordnete Auswertung gibt es nicht.

Das vorliegende Programm unterscheidet sich sowohl unter technischen als auch unter inhaltlichen Aspekten von den oben vorgestellten drei Programmen. So wurde es, wie weiter oben dargestellt, in HTML programmiert. Die Umsetzung auf Deutsch erleichtert dem deutschsprachigen Studenten das Erarbeiten der Inhalte, da er keine zusätzliche Sprachbarriere überwinden muss, und die Verwendung von NAV-Termini würde es auch ausländischen Anwendern ermöglichen, zumindest die einzelnen Strukturen zu identifizieren.

Inhaltliche Überschneidungen finden sich naturgegeben zwischen allen beschriebenen Programmen; aber es bestehen auch deutliche Unterschiede.

Im Vergleich zum interaktiven Atlas enthält das vorliegende Programm die Kapitel Gefäß- und die Nervenversorgung der Gliedmaße sowie Hautanhangsgebilde. Im Gegensatz dazu wurde auf die Darstellung von Röntgenbildern und Ultraschallbildern verzichtet. Stattdessen wurde eine Reihe von CT-Bildern in das Kapitel Gelenke aufgenommen. Die Muskelverläufe wurden durch viele Detailfotos ersetzt, auf denen Ursprung, Verlauf und Ansatz jedes Muskels bzw. seiner Anteile zu erkennen sind.

⁶ Gainesville, Florida, USA; tb.sumtotalsystems.com (26.02.2014)

Zusätzlich zu den Informationen, die das Programm der Colorado State University bietet, wird im vorliegenden Programm auf Gelenkbänder, synoviale Einrichtungen der Muskulatur und auf diverse klinische Aspekte eingegangen.

Die einzelnen Gliedmaße werden klar strukturiert präsentiert. So sind z.B. die Eigenmuskeln der Gliedmaße den Gelenken zugeordnet, die sie bewegen, und innerhalb dieser Einordnung noch einmal nach ihrer Funktion unterteilt. Die wesentlichen Informationen sind meistens auf einen Blick zu sehen und müssen nicht aus dem Bild „herausgeklickt“ werden. Die bildliche Darstellung der Inhalte erfolgte durch ansprechende, qualitativ hochwertige Fotos und übersichtliche Schemadateien. Weiterhin wird eine Vielzahl an Hintergrundinformationen zur Verfügung gestellt und die wichtigsten Inhalte anhand von Übungstabellen noch einmal zusammengefasst.

Der mit Hyperlinks versehene Index bietet eine übersichtliche und bequeme Nachschlagefunktion.

Die Quizzes sind den jeweiligen Themengebieten zugeordnet, so dass der Lerner diese Inhalte gezielt üben kann. Jedes Quiz ist in einzelne Teile, bestehend aus jeweils 10 Fragen, gegliedert. Nach Durcharbeiten eines solchen Quiz-Teils bekommt der Lerner ein differenziertes Feedback zu seiner Leistung.

Insgesamt betrachtet ist das vorliegende Lernprogramm optimal auf die Bedürfnisse der Studenten im vorklinischen Abschnitt des Studiums an der LMU abgestimmt, die sich bereits im 1. Semester die vollständige topografische Anatomie der Schultergliedmaße aneignen müssen. Aber auch für höhere Semester und für fertige Tierärzte kann dieses Programm als praktisches und übersichtliches Nachschlagewerk für anatomische Fragestellungen zur Schultergliedmaße des Hundes dienen.

5.5 Plastinate

Die Erstellung der Muskel- und Plexuspräparate war in mehrerlei Hinsicht vorteilhaft: Die Studierenden, die an der Präparation beteiligt waren, haben zum einen ein profundes Wissen über die Strukturen an der Schultergliedmaße erworben und zum anderen ihre präparatorischen Fähigkeiten verbessert. Für diese Arbeit sind einige schöne Anschauungsmaterialien entstanden, deren Fotos die Anschaulichkeit des Programms enorm gesteigert haben. Die Präparate wurden zwischen den Präparationszeiten in Salzlake mit nur einem geringen Formalinanteil gelagert, um für die Fotos eine möglichst natürliche Farbgebung vor allem der Muskulatur zu erhalten.

In Zukunft sollten solche Präparationen allerdings nicht während eines ganzen Semesters, sondern besser in der vorlesungsfreien Zeit über einen kürzeren Zeitraum erstellt werden. Dies schont zum einen die Präparate, da sie weniger Zeit in der Aufbewahrungslösung liegen, und die Studenten haben mehr Zeit und Ruhe für die Präparation, da sie nicht durch Kurse oder Prüfungen unter Zeitdruck sind und kontinuierlich am Präparat arbeiten können.

Die nach Abschluss dieser Arbeit plastinierten Präparate stehen nun den Studenten der Vorklinik sowohl in Vorlesungen als auch in Kursen zur Verfügung und stellen eine optimale Unterstützung der Studenten bei der eigenständigen Erarbeitung des Themas Schultergliedmaße dar.

Ebenso bieten die Gelenkausgüsse sehr wertvolle Anschauungsobjekte, da die Gelenkkapseln mit ihren Ausbuchtungen, Kapselsehnenscheiden und Eindrücken durch benachbarte Sehnen von den Studenten nie präparatorisch dargestellt werden können. Die anschauliche Darstellung dieser klinisch wichtigen Strukturen bleibt daher immer aufwändigen Spezialpräparaten vorbehalten.

6 Zusammenfassung

Studenten der Tiermedizin müssen in den ersten Semestern eine Vielzahl von anatomischen Fakten erlernen und verarbeiten. Zusätzlich zu den Vorlesungen und Präparierübungen müssen sie den vermittelten Stoff vor- und/oder nachbereiten, was in der Regel mit Hilfe von Lehrbüchern geschieht. Da die meisten Lehrbücher alle Haussäugetiere behandeln, fallen Detailinformationen zu den einzelnen Spezies und entsprechendes, illustrierendes Bildmaterial knapp aus, was den Lernerfolg einschränken kann. Bücher, die sich mit einer oder wenigen Spezies beschäftigen, sind hingegen oftmals so umfangreich, dass es den Studenten unmöglich ist, ein solches Werk für jede Tiergruppe durchzuarbeiten. Einen Beitrag zur Unterstützung der Studenten kann hier das E-Learning bieten.

Das Ziel dieser Arbeit war es, den Studierenden in der Vorklinik ergänzendes Lehrmaterial an die Hand zu geben, mit dem sie sich auf Zwischenprüfungen und die Physikumsprüfung vorbereiten können. Es soll Bestandteil einer ganzen Serie von Programmen zur topografischen Anatomie der Haussäugetiere sein, die ihren Anfang mit dem Pferdekopf genommen hat.

Mit Hilfe zahlreicher Abbildungen von Gliedmaßenpräparaten (Knochen, Gelenkausschnitte, Muskelpräparate, topografische Präparate), Schemazeichnungen und CT-Bildern wurde der Aufbau der Schultergliedmaße von den knöchernen Strukturen bis zu Hautanhangsgebilden dargestellt. Das Programm umfasst die Kapitel Knochen, Gelenke, Muskeln, Gefäße, Nerven und Hautanhangsgebilde, die ihrerseits weiter logisch untergliedert sind. Die Gliederung ist an die allgemein übliche Einteilung in den gängigen Lehrbüchern angelehnt, um ein paralleles Lernen mit dem Lernprogramm und Büchern zu vereinfachen. Die Lerninhalte werden auf zahlreichen, bebilderten und interaktiv gestalteten Informationsseiten vermittelt. Zusätzlich kann der Lerner sein Wissen mit Hilfe von Übungstabellen festigen, welche die wichtigsten Inhalte des Kapitels oder Unterkapitels in knapper Form zusammenfassen. Ein Quiz mit Auswertung in jedem Kapitel bietet dem Benutzer die Möglichkeit, das Gelernte zu überprüfen.

Als praktische Nachschlagefunktion gibt es einen Index, der von jeder Seite des Programms aus aufgerufen werden kann. Er enthält eine Auflistung aller im Lernprogramm vorkommenden Strukturen in Form von Hyperlinks, über die das entsprechende Kapitel direkt angesteuert werden kann.

Die Präparate sind so erstellt worden, dass die Studierenden einen möglichst umfassenden Überblick über die wichtigsten Strukturen bekommen. Vor allem wurde

Wert darauf gelegt, ein Verständnis des Gesamtaufbaus der Gliedmaße und der Zusammenhänge zwischen den einzelnen Themengebieten zu vermitteln. Auch wurde, sofern möglich, für jedes Thema ein Bezug zur Klinik hergestellt, um dem Lernenden die Relevanz der vorgestellten Fakten für seine spätere Arbeit zu verdeutlichen.

Die technische Umsetzung erfolgte mittels HTML, Cascading Stylesheets (CSS) und JavaScript. Als standardisierte Programmiersprache ist HTML unabhängig von der Hardware- und Softwareumgebung und kann in jedem gängigen Browser abgespielt werden, der die Standards des World Wide Web Consortiums (W3C) umsetzt.

Obwohl das vorliegende Programm nicht das erste Lernprogramm zum Thema „Schultergliedmaße des Hundes“ ist, bietet es im Vergleich zu den bereits existierenden Programmen einige Alleinstellungsmerkmale, durch die es sich deutlich von diesen abhebt. Es ist optimal auf die Bedürfnisse der Studenten im vorklinischen Abschnitt des Studiums an der LMU abgestimmt, die sich bereits im 1. Semester die vollständige topografische Anatomie der Schultergliedmaße aneignen müssen. Aber auch für höhere Semester und für Tierärzte kann dieses Programm als praktisches und übersichtliches Nachschlagewerk für anatomische Fragestellungen dienen.

7 Summary

Title: “The thoracic limb of the dog” – an interactive learning program on the anatomy

During the first two years at the university students of veterinary medicine have to learn a lot of anatomic facts. Prior to lectures and dissection courses they have to prepare the subject matter and often they also have to review it afterwards. Usually students use textbooks to do this. But most of the common veterinary textbooks deal with all species of domestic mammals, so detailed information on individual species and illustrations are given only sparsely, which might reduce learning success. Textbooks that deal with a single species only often are too detailed and comprehensive for students to learn with them. In this situation e-learning can offer valuable assistance.

It was the objective of this thesis to provide students in the preclinical stage of their studies with complementary learning material to help them prepare for intermediate examinations and the preliminary medical examination. The program will be part of a serial of programs on the topographic anatomy of domestic animals, which started with “The equine head” by Isabel Albert.

Numerous photographs of anatomical specimens of canine thoracic legs (bones, corrosion casts of articular cavities, muscle and topographic specimens), schematic illustrations and CT-images help to illustrate the architecture of the thoracic limb, from skeleton to skin modifications like pads and claws.

The program is divided into six chapters: bones, joints, muscles, (blood) vessels including lymph nodes, nerves and skin modifications. Each of the chapters is subdivided further into logical sections. The organization of the program is based on the organization of common textbooks to help the students study with program and books in parallel.

Contents are presented on numerous information pages, supplied with pictures and interactive contents. Additionally the most important aspects of each chapter or section are summarized in interactive tables, which can be used to review the subject matter. In each chapter the students find a self quiz to test their knowledge, including feedback at the end of each test. The program also provides an interactive index, which can be accessed from each content page. It contains hyperlink lists of all structures mentioned in the program, allowing for direct navigation to the respective chapter.

The various anatomical specimens have been produced to give students a comprehensive overview of the main structures of the thoracic limb. The main focus was to facilitate the comprehension of the entire architecture of the limb and to allow a profound understanding of the relationship between the single topics. If possible, correlated clinical aspects are presented to demonstrate the importance of anatomical knowledge for the students' future practical work.

This program was built using HTML, Cascading Stylesheets (CSS) and JavaScript. As a standardized programming language, HTML is independent of hardware and software environments. Websites built in HTML work on most browsers, as long as the programmer takes care to consider the standards defined by the World Wide Web Consortiums (W3C).

Even though this program is not the first learning program to deal with the "thoracic limb of the dog", it provides unique features which make it stand out from the other programs. The design is perfectly adapted to the needs of students of preclinical semesters at the LMU, who have to learn the complete architecture of the thoracic limb in their first semester. For students from higher semesters as well as for veterinarians it can serve as a handy and clearly arranged reference work.

8 Literaturverzeichnis

- 1 Agduhr, E. (1915): Anatomische, statische und experimentelle Untersuchungen über N. medianus und N. ulnaris, bes. deren motorisches Innervationsgebiet im Vorderarm von Haustieren, nebst einigen Bemerkungen über die Muskulatur desselben Gebietes und über N. musculocutaneus. Anat. Hefte 52: S. 497-647.
- 2 Al-Bagdadi, F. (2013): The Integument. In: H. E. Evans und J. De Lahunta, Miller's Anatomy of the Dog, 4th ed.: S. 61-79. Elsevier Saunders, St. Louis.
- 3 Albert, I. (2010): "Der Pferdekopf" - ein interaktives Lernprogramm. Diss. med. vet., LMU, München.
- 4 Allam, M. W., Lee, D. G., Nulsen, F. E. und Fortune, E. A. (1952): The anatomy of the brachial plexus of the dog. Anat. Rec. 114(2): S. 173-179.
- 5 Armstrong, R. B., Saubert IV, C. W., Seeherman, H. J. und Taylor, C. R. (1982): Distribution of fiber types in locomotory muscles of dogs. Am. J. Anat. 163(1): S. 87-98.
- 6 Ballstaedt, S.-P. (1997): Wissensvermittlung: Die Gestaltung von Lernmaterial, Beltz, PsychologieVerlagsUnion.
- 7 Bang, J., Henning, P., Hoyer, H. H., Kalb, H., Müller-Böling, D. und Schmitt, G. (2005): Bericht der Gutachterkommission zur Evaluation der Virtuellen Hochschule Bayern (vhb) Virtuelle Hochschule Bayern (vhb)
- 8 Baum, H. und Zietzschmann, O. (1936): Das Skelettsystem. Der passive Bewegungsapparat. In: H. Baum und O. Zietzschmann, Handbuch der Anatomie des Hundes. Erster Band, 2. Aufl.: S. 3-107. Paul Parey, Berlin.
- 9 Bezuidenhout, A. J. (2013a): The Heart and Arteries. In: H. E. Evans und J. De Lahunta, Miller's Anatomy of the Dog, 4th ed.: S. 428-504. Elsevier Saunders, St. Louis.
- 10 Bezuidenhout, A. J. (2013b): The Lymphatic System. In: H. E. Evans und J. De Lahunta, Miller's Anatomy of the Dog, 4th ed.: S. 535-562. Elsevier Saunders, St. Louis.
- 11 Bezuidenhout, A. J. (2013c): Veins. In: H. E. Evans und J. De Lahunta, Miller's Anatomy of the Dog, 4th ed.: S. 505-534. Elsevier Saunders, St. Louis.
- 12 Bielohuby, M., Ehlers, J., Rankl, J. und Stolla, R. (2004): Computer-Assistierte-Lernprogramme (CAL) in der Tiermedizin. DTBl. 3: S. 249-252.
- 13 Blanck, N. (2003): InsideDOG: The Head. Diss. med. vet., LMU, München.

- 14 Boeker, M. und Klar, R. (2006): E-Learning in der ärztlichen Aus- und Weiterbildung Methoden, Ergebnisse, Evaluation. Bundesgesundhbl. - Gesundheitsforsch. - Gesundheitsschutz 49(5): S. 405-411.
- 15 Budras, K.-D. (2012): Schultergliedmaße. In: S. Reese, C. Mülling, C. Pfarrer, S. Kölle und K.-D. Budras, Atlas der Anatomie des Hundes, 9., überarb. Aufl.: S. 10-33. Schlütersche, Hannover.
- 16 Buxton, D. F. und Peck, D. (1990): Density of muscle spindle profiles in the intrinsic forelimb muscles of the dog. J. Morphol. 203: S. 345-359.
- 17 Carrier, D. R., Deban, S. M. und Fischbein, T. (2006): Locomotor function of the pectoral girdle 'muscular sling' in trotting dogs. J. Exp. Biol. 209(11): S. 2224-2237.
- 18 College of Veterinary Medicine & Biomedical Sciences, C. S. U. (2012): Virtual Canine Anatomy. Aufgerufen am 05.03.2014, unter <http://www.cvmb.colostate.edu/vetneuro/index.html>.
- 19 Consortium, W. W. W. (2012): HTML & CSS. Aufgerufen am 16.02.2014, unter <http://www.w3.org/standards/webdesign/htmlcss>.
- 20 Dittler, U. (2011): e-Learning: Einsatzkonzepte und Erfolgsfaktoren des Lernens mit interaktiven Medien, Oldenbourg Verlag.
- 21 Ehlers, J. P. und Friker, J. (2003): Erstellung von computerassistierten Lernprogrammen Erfahrungen aus einem Kooperationsmodell an der Tierärztlichen Fakultät der Universität München. Tierarztl. Prax. 31 (K): S. 74-80.
- 22 Ehlers, J. P., Friker, J., Liebich, H. G. und Stolla, R. (2002): PC-Ausstattung und-nutzung von Studierenden der Tiermedizin im Vergleich zu Schülern der 12. Klasse. Med. Ausbildung. 19: S. 124-126.
- 23 Ehlers, J. P. und Stadler, O. (2013): Reproduktionsmedizinische CASUS-Fälle in der Tiermedizin. Aufgerufen am 16.02.2014, unter <http://kurse.vhb.org/VHBPORTAL/kursprogramm/kursprogramm.jsp?Period=58&School=4&Section=142>.
- 24 Evans, H. E. und De Lahunta, A. (2013a): Arthrology. In: H. E. Evans und A. de Lahunta, Miller's Anatomy of the Dog, 4th ed.: S. 158-184. Elsevier Saunders, St. Louis.
- 25 Evans, H. E. und De Lahunta, A. (2013b): The Skeleton. In: H. E. Evans und A. De Lahunta, Miller's Anatomy of the Dog, 4th ed.: S. 80-157. Elsevier Saunders, St. Louis.
- 26 Evans, H. E. und De Lahunta, A. (2013c): Spinal Nerves. In: H. E. Evans und A. De Lahunta, Miller's Anatomy of the dog, 4th ed.: S. 611-657. Elsevier Saunders, St. Louis.

- 27 Fischer, M. S. und Lilje, K. E. (2011): Hunde in Bewegung, Kosmos-Verlag, Stuttgart.
- 28 Flaswinkel, H. (2011): SonoBasics: Integration ins Studienportal. Aufgerufen am 16.02.2014, unter <http://www.vetmed.uni-muenchen.de/aktuelles/archiv/nachrichten/2011/sonobasics/index.html>.
- 29 Germ, M. und Mandl, H. (2009): Warum scheitert die nachhaltige Implementation von E-Learning in der Hochschule? In: U. Dittler, J. Krameritsch, N. Nistor, C. Schwarz und A. Thillosen, E-Learning: Eine Zwischenbilanz, Kritischer Rückblick als Basis eines Aufbruchs: S. 275-290. Waxmann, Münster, New York, München, Berlin.
- 30 Geyer, H. (2008): Äußere Haut, Integumentum commune In: F.-V. Salomon, H. Geyer und U. Gille, Anatomie für die Tiermedizin, 2., aktual. und erw. Aufl.: S. 633-677. Enke Verlag, Stuttgart.
- 31 Gille, U. (2008): Herz-Kreislauf- und Abwehrsystem, Angiologia. In: F.-V. Salomon, H. Geyer und U. Gille, Anatomie für die Tiermedizin, 2., aktual. und erw. Aufl.: S. 404-463. Enke Verlag, Stuttgart.
- 32 Goslow, G. E. J., Seeherman, H. J., Taylor, C. R., McCutchin, M. N. und Heglund, N. C. (1981): Electrical activity and relative length changes of dog limb muscles as a function of speed and gait. J. Exp. Biol. 94: S. 15-42.
- 33 Haag, M. (1998): Plattformunabhängige, adaptive Lehr-/Lernsysteme für die medizinische Aus- und Weiterbildung. Diss. sc. hum., Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.
- 34 Habermehl, K.-H. (2004): Haut und Hautorgane. In: J. Frewein, K.-H. Wille, H. Wilkens und H. Augsburg, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band III - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane, 4. unveränd. Aufl.: S. 443-576. Parey Verlag, Stuttgart.
- 35 Habermehl, K.-H., Vollmerhaus, B., Wilkens, H. und Waibl, H. (2005): Venen, Venae. In: K.-H. Habermehl, B. Vollmerhaus, H. Wilkens und H. Waibl, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band III - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane, 4. unveränd. Aufl.: S. 189-275. Parey Verlag, Stuttgart.
- 36 Hermanson, J. W. (2013): The Muscular System. In: H. E. Evans und J. De Lahunta, Miller's Anatomy of the Dog, 4th ed.: S. 185-280. Elsevier Saunders, St. Louis.
- 37 Hinderberger, A. (2008): Erstellung eines computergestützten Lernprogramms zum Ausdrucksverhalten des Hundes. Diss. med. vet., LMU, München.
- 38 Hocke, V. (2005): Multimediales Lernprogramm zur Sonografie von Milz, Leber und Pankreas bei gesunden Hunden und Katzen. Diss. med. vet., LMU, München.

- 39 Huwendiek, S., Muntau, A. C., Maier, E. M., Tönshoff, B. und Sostmann, K. (2008): E-Learning in der medizinischen Ausbildung. Monatsschrift Kinderheilkunde 156(5): S. 458-463.
- 40 InterNICHE (2012): Anatomia Canis. Aufgerufen am 05.03.2014, unter <http://www.interniche.org/de/alternatives/anatomia-canis>.
- 41 Kitchell, R. L., Whalen, L. R., Bailey, C. S. und Lohse, C. L. (1980): Electrophysiologic studies of the cutaneous nerves of the thoracic limb of the dog. Am. J. Vet. Res. 41(1): S. 61-76.
- 42 KMK und GWK (2012): Aufstieg durch Bildung - Die Qualifizierungsinitiative für Deutschland, Bericht zur Umsetzung 2012, Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (KMK), Gemeinsame Wissenschaftskonferenz (GWK).
- 43 König, H. E., Fries, R., Paulsen, P. und Liebich, H.-G. (2012a): Immunsystem und lymphatische Organe (Organa lymphopoetica). In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, 5. Aufl.: S. 471-484. Schattauer, Stuttgart.
- 44 König, H. E., Misek, I., Mülling, C., Seeger, J. und Liebich, H.-G. (2012b): Nervensystem (Systema nervosum). In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, 5. Aufl.: S. 485-556. Schattauer, Stuttgart.
- 45 Kopp, P. (1901): Ueber die Verteilung und das topographische Verhalten der Nerven an der Hand der Fleischfresser, nebst einer vergleichenden Zusammenstellung der Verschiedenheiten in dem Verlaufe dieser Nerven bei Mensch, Hund und Katze. Diss. med. vet., Universität Bern, Bern.
- 46 Krüger, W. und Thur, T. (1928): Beiträge zum Problem des Stehens der Vierfüßler. Pflug. Arch. Eur. J. Phy. 218(1): S. 677-689.
- 47 Langworthy, O. R. (1924): The panniculus carnosus in cat and dog and its genetic relation to the pectoral musculature. J. Mammal. 5: S. 49-63.
- 48 Liebich, H.-G., Maierl, J. und König, H. E. (2012): Vorder- oder Schultergliedmaßen (Membra thoracica). In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, 5. Aufl.: S. 141-210. Schattauer, Stuttgart.
- 49 Maierl, J., Weissengruber, G., Peham, C. und König, H. E. (2012): Statik und Dynamik. In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, 5. Aufl.: S. 275-282. Schattauer, Stuttgart.
- 50 NAV (2012): Nomina Anatomica Veterinaria. 5th ed., rev. version, International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature, Hannover , Columbia, Ghent, Sapporo.
- 51 Nickel, R., Schummer, A. und Seiferle, E. (2004a): Lehrbuch der Anatomie der Haustiere Band IV. 4. unveränd. Aufl., Parey Verlag, Stuttgart.

- 52 Nickel, R., Schummer, A., Wille, K.-H. und Wilkens, H. (2004b): Gelenklehre, Arthrologia. In: J. Frewein, K.-H. Wille, H. Wilkens und H. Augsburg, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I, 8. unveränd. Aufl.: S. 215-272. Parey Verlag, Stuttgart.
- 53 Nickel, R., Schummer, A., Wille, K.-H. und Wilkens, H. (2004c): Knochenlehre, Osteologia. In: J. Frewein, K.-H. Wille, H. Wilkens und H. Augsburg, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I, 8. unveränd. Aufl.: S. 15-214. Parey Verlag, Stuttgart.
- 54 Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., Hein, A., Hupfer, M. und Zobel, A. (2008): Kompendium multimediales Lernen, Springer.
- 55 Pedersen, H. E., Blunck, C. F. und Gardner, E. (1956): The anatomy of lumbosacral posterior rami and meningeal branches of spinal nerve (sinu-vertebral nerves); with an experimental study of their functions. J. Bone Joint Surg. Am. 38-A(2): S. 377-91.
- 56 Reese, S., Budras, K.-D., Mülling, C., Bragulla, H. und König, H. E. (2012): Allgemeine Körperdecke (Integumentum commune). In: H. E. König und H.-G. Liebich, Anatomie der Haussäugetiere, 5. Aufl.: S. 605-656. Schattauer, Stuttgart.
- 57 Reif, U., Meyer-Lindenberg, A. und Wagner, F. (2011): Erkrankungen des Bewegungsapparates. In: P. F. Suter, B. Kohn und G. Schwarz, Praktikum der Hundeklinik: S. Enke Verlag, Stuttgart.
- 58 Reusser, K. (2005): Problemorientiertes Lernen–Tiefenstruktur, Gestaltungsformen, Wirkung. Beiträge zur Lehrerbildung 23(2): S. 159-182.
- 59 Ruf, D., Berner, M. M., Kriston, L. und Härter, M. (2008): E-Learning – eine wichtige Unterstützung in der medizinischen Aus-, Fort- und Weiterbildung? Bundesgesundheitsbl. - Gesundheitsforsch. - Gesundheitsschutz 51(9): S. 1061–1069.
- 60 Salomon, F.-V. (2008a): Bewegungsapparat. In: F.-V. Salomon, H. Geyer und U. Gille, Anatomie für die Tiermedizin, 2., aktual. und erw. Aufl.: S. 22-234. Enke Verlag, Stuttgart.
- 61 Salomon, F.-V. (2008b): Nervensystem, Systema nervosum. In: F.-V. Salomon, H. Geyer und U. Gille, Anatomie für die Tiermedizin, 2., aktual. und erw. Aufl.: S. 464-577. Enke Verlag, Stuttgart.
- 62 Schanda, F. (1995): Computer-Lernprogramme, Beltz Verlag, Weinheim und Basel.
- 63 Schmidt, S. K. (2005): Entwicklung eines multimedialen Lernprogramms zum Thema "Ektoparasiten bei Klein- und Heimtieren" für die veterinärmedizinische Parasitologie. Diss. med. vet., LMU, München.

- 64 Schulz, K. S. (2011): Gelenkerkrankungen. In: T. W. Fossum, Chirurgie der Kleintiere, 2. Auflage: S. 1199-1376. Elsevier, Urban & Fischer, München.
- 65 Seiferle, E. und Frewein, J. (2004): Aktiver Bewegungsapparat, Muskelsystem, Myologia. In: J. Frewein, K.-H. Wille, H. Wilkens und H. Augsburg, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band I, 8. unveränd. Aufl.: S. 273-585. Parey Verlag, Stuttgart.
- 66 SELFHTML (2007a): Grafikformate für Web-Seiten. Aufgerufen am 15.02.2014, unter <http://de.selfhtml.org/grafik/formate.htm>.
- 67 SELFHTML (2007b): Techniken und Begriffe der Bildbearbeitung. Aufgerufen am 15.02.2014, unter <http://de.selfhtml.org/grafik/techniken.htm>.
- 68 Sharp, J. W., Bailey, C. S., Johnson, R. D. und Kitchell, R. L. (1991): Spinal Root Origin of the Radial Nerve and Nerves Innervating Shoulder Muscles of the Dog. Anat., Histol., Embryol. 20(3): S. 205-214.
- 69 Slijper, E. J. (1946): Comparative biologic-anatomical investigations on the vertebral column and spinal musculature of mammals, North-Holland Pub. Co.
- 70 Snow, D. H., Billeter, R., Mascarello, F., Carpena, E., Rowlerson, A. und Jenny, E. (1982): No classical type IIB fibres in dog skeletal muscle. Histochem. Cell Biol. 75(1): S. 53-65.
- 71 Stadler, O. (2013): eLearning CASUS-Fälle. Aufgerufen am 16.02.2014, unter http://www.wdk.vetmed.uni-muenchen.de/studium_lehre/rotation/casus/index.html.
- 72 Streck, N. S. (2004): Computer basiertes Lernprogramm über die physikalisch-technischen Grundlagen der Sonografie beim Kleintier. Diss. med. vet., LMU, München.
- 73 Thiede, M. (2004): Parasitosen des Nutzgeflügels und der Ziervögel unter praxisrelevanten Bedingungen. Diss. med. vet., LMU, München.
- 74 Vollmerhaus, B. (2007): Gelenkpunktion (Arthrozentese). In: H. Schebitz und W. Brass, Operationen an Hund und Katze, 3. Aufl.: S. 19-23. Parey Verlag, Stuttgart.
- 75 Vollmerhaus, B., Friess, A. und Waibl, H. (1994): Immunorgane und Lymphgefäße. In: J. Frewein und B. Vollmerhaus, Anatomie von Hund und Katze: S. 298-315. Blackwell Wissenschaft, Berlin.
- 76 Vollmerhaus, B. und Roos, H. (2005): Lymphgefäßsystem. In: K.-H. Habermehl, B. Vollmerhaus, H. Wilkens und H. Waibl, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band III - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane, 4. unveränd. Aufl.: S. 302-442. Parey Verlag, Stuttgart.

- 77 Waibl, H. und Brunnberg, L. (2012): Schultergliedmaße. In: H. Waibl, E. Mayrhofer, L. Brunnberg, U. Matis und R. Köstlin, Atlas der Röntgenanatomie des Hundes, 3. Auflage: S. Enke Verlag, Stuttgart.
- 78 Waibl, H., Wilkens, H. und Münster, W. (2005): Arterien, Arteriae. In: K.-H. Habermehl, B. Vollmerhaus, H. Wilkens und H. Waibl, Lehrbuch der Anatomie der Haustiere. Band III - Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane, 4. unveränd. Aufl.: S. 74-188. Parey Verlag, Stuttgart.
- 79 WorldCat (1999): Anatomia Canis. Aufgerufen am 05.03.2014, unter <http://www.worldcat.org/title/anatomia-canis/oclc/53249878>.
- 80 Zengerling, M. T. (2004): BovineDigit. Diss. med. vet., LMU, München.
- 81 Zimmermann, A. (1928): Zur vergleichenden Anatomie des M. pronator teres. Verhdlg. Anat. Ges. 66: S. 281-282.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv.-Doz. Dr. Johann Maierl für die Überlassung des Themas und die hervorragende Betreuung bei der Erstellung der Dissertationsschrift und des Lernprogramms.

Frau Silvie Mitterer danke ich für viele anregende und aufmunternde Gespräche, für ihre Unterstützung bei der Hundebetreuung und nicht zuletzt für ihre unermüdliche Fehlersuche in Dissertation und Lernprogramm.

Bei den Präparatoren, ganz besonders bei Herrn Siegfried Hecher, möchte ich mich ganz herzlich für seine immerwährende Hilfsbereitschaft und Unterstützung bei allen Angelegenheiten rund um die Präparateerstellung bedanken.

Den Studenten aus den Wahlpflichtfächern danke ich für ihren Eifer und ihr Engagement bei der Erstellung der Muskel- und der topografischen Gliedmaßenpräparate.

Herrn Dr. Andreas Brühschwein von der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU danke ich für die Erstellung der CT-Aufnahmen.

Frau Kaline Pfaffendorf danke ich für viele Tipps zur Fotobearbeitung, für die liebevolle Betreuung von Darwin und Wallace und für viele anregende und lustige Stunden in der Anatomie.

Bei meinen Freunden und meiner Familie möchte ich für ihre seelische und moralische Unterstützung danken. Bei meiner Mutter, Lydia Bänsch, Maria und Florian Seckerdieck, Yvonne Liczner, Mark Grace und Dr. Marc Albrecht möchte ich mich außerdem für ihre Hilfe beim Korrekturlesen und -klicken bedanken.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinem Mann, Harald Bänsch, für die finanzielle und praktische Unterstützung, sein Verständnis und seine unendliche Geduld. Ohne ihn hätte ich dieses Studium und diese Doktorarbeit niemals verwirklichen können.